

학교시설 내진성능 평가 및 내진보강 가이드라인

— 매뉴얼 —

연구 책임자 | 이 강 석 (전남대학교)

학교시설 내진성능 평가 및 내진보강 가이드라인

발 행 일 2011년 8월
펴 낸 이 김태완
펴 낸 곳 한국교육개발원
등록번호 제 16-35 호
등록일자 1973년 6월 13일

주 소 서울시 서초구 바우피길 220-1 우면동 92-6(137-791)
전 화 (02)3460-0114, 1211
팩 스 (02)3460-0116

<http://www.kedi.re.kr>

ISBN _

최근 수년간 일본, 이탈리아, 알제리, 모로코, 터키, 파키스탄, 중국 등에서 지진에 따른 학교 건물 붕괴로 수많은 어린이학생이 희생되어 큰 사회적 파장을 불러 일으켰으며, 특히 1995년 일본 고베지진에서는 약 30%의 학교가 지진피해를 받았으며, 2005년 파키스탄 지진 때는 수많은 학교 건물이 붕괴하여 1만 7000여명 어린이가 사망하였다. 2008년 중국 쓰촨성 대지진에서도 어린이학생 수백명의 목숨을 한꺼번에 앗아간 학교 붕괴 현장들은 가장 참혹한 지진피해가 발생하여 중국사회에 큰 충격을 주었다. 한편, 국내 1987년 기준 전국의 학교 수는 12,860개교에서 2006년 14,681개교로 1988년 내진설계법 적용 이후 건립된 학교는 전체 학교 수의 약 14%에 해당되며, 약 86%의 학교는 내진기준 제정 전에 설립되어 내진설계가 되어 있지 않는 것이 현실로서, 비 내진상세를 가지는 국내 학교 건물의 내진대책은 시급하다. 그러나 현재 내진대책의 기본이 되는 내진성능평가법에 대한 구체적인 지침이 없는 실정이며, 대부분 국외기준을 적용한 내진성능 평가결과에 관한 연구가 주류이며, 평가방법의 어려움으로 인한 고도의 전문적 지식이 필요하다. 따라서, 내진성능평가를 간단하게 수행가능하며, 결과에 대한 신뢰성이 확보가 가능한 한국형 내진성능 평가법 구축 필요하다.

본 연구는 교육과학기술부 시설과 내진업무 수행에 적합한 국내 학교건물의 특성을 고려한 내진성능평가 및 내진보강 가이드라인 개발을 목적으로 한다. 지진 시 학교건물의 붕괴 또는 손상의 우려가 있는지를 판단할 내진성능 평가 방법 개발, 각 학교시설의 특성을 고려한 내진성능판정지표 구축 및 효율적이며 경제적인 내진보강의 기본계획을 제시하기 위한 가이드 라인을 개발하였다.

본 연구 결과가 궁극적으로 시·도 교육청 및 관계기관의 학교시설 내진보강사업에 유용한 자료가 되기를 기대한다.

2011년 8월

한국교육개발원
원장 김태완

| 연구요약

본 연구의 목적은 교육과학기술부 시설과 내진업무 수행에 적합한 국내 학교건물의 특성을 고려한 내진성능 평가 지침 및 내진보강 기본계획을 위한 가이드라인을 개발하는 것이다.

본 내진성능 평가 지침은 기존 중·저층 철근콘크리트 학교 건축구조물의 구조체의 내진성능 평가를 수행하기 위해서 사용할 수 있다. 내진성능은 연속량의 수치를 기준으로 설정한 내진성능등급 (A, B, C, D, E)으로 평가가 가능하며, 내진보강 여부를 포함한 내진안전성의 판정은 목표 내진성능 수준 (500년 재현주기일 경우는 즉시거주, 2400년 재현주기의 2/3에서는 붕괴방지 수준)에서 결정한 판정기준에 의해서 수행한다.

본 지침은 기존 학교 건물을 대상으로 한 내진보강 전·후의 내진성능 확인에 적용하며, 또한 내진보강이 필요한 기존 학교건물에 대해서는 필요 내진보강량 (강도 및 변형)의 산정 등 내진보강 기본계획에 적용할 수가 있다.

본 지침에 의한 내진성능 평가방법은 계산의 수준이 다른 내진성능 예비평가법 및 내진성능 상세평가법의 2단계로 구성되어 있으며, 내진성능 확인만의 목적으로 이용할 경우에는 2가지 방법 가운데 1가지방법을 이용해도 좋지만, 각각의 내진성능 평가법을 적용 할 경우에는 성능 평가의 목적, 대상건물의 구조특성 등에 대응하여 적절한 방법을 선택한다. 기존 학교건물의 내진성능 확인 및 내진보강을 위한 목적으로 이용할 경우에는 내진성능 상세평가법은 반드시 수행해야한다.

내진성능 예비평가 결과, A 및 B등급 일 경우에는 내진성능이 우수한 학교로서 평가되며, C, D, E등급은 내진성능에 문제가 있는 학교시설이기 때문에 내진성능 상세평가를 실시하여 내진보강 여부를 평가해야 한다. 최종적으로 상세평가 결과 A 및 B등급은 OK, C 및 D 내진보강 실시, E등급은 내진보강 및 개축여부를 판단하여 내진대책을 강구한다.

I. 총칙	1
1. 기본방침	1
2. 적용범위	2
3. 건물의 조사 및 재료강도	3
가. 설계도면이 없는 경우의 조사	3
나. 재료강도의 결정	3
4. 용어정리	5
II. 목표 내진성능 수준 및 내진성능 등급	7
1. 목표 내진성능 수준	7
2. 지진위험도	10
가. 평가용 지진가속도	10
나. 지진구역 및 지역계수	12
다. 지반의 분류 및 지반증폭계수	12
1) 지반종류	12
2) 지반분류의 기준면	12
3. 구조체의 성능수준 및 범위의 정의	14
4. 내진성능 등급의 결정	15
가. 내진성능 예비평가 결과 및 내진성능 등급	16
나. 내진성능 상세평가 결과 및 내진성능 등급	17
5. 내진성능 판정법	18

차 례

○ III. 내진성능 예비평가	20
1. 일반사항	20
2. 평가용 지진가속도 산정	21
3. 전단 및 휨파괴형 부재 내력산정	22
가. 휨파괴형 부재의 극한내력	24
나. 전단파괴형 부재의 극한내력	25
4. 요구성능 판정지표 및 평가용 지표산정	37
5. 건물의 지진피해도 및 내진성능 평가점수 산정	38
가. 경미한 피해 판정 및 내진성능 점수 계산	38
나. 소규모 피해 판정 및 내진성능 점수 계산	38
다. 중·대규모 피해 판정 및 내진성능 점수 계산	39
라. 대규모 피해용 내진성능 점수 계산	40
6. 내진성능 등급 결정	40
○ IV. 내진성능 상세평가	41
1. 일반사항	41
2. 평가용 지진가속도 산정	42
3. 보유성능의 계산	42
가. 강도지표의 계산	45
나. 연성지표의 계산	48
4. 연성율별 지진가속도 수준의 산정	50
5. 연성율별 내진성능저감계수를 고려한 잔존내진성능 산정	52
6. 건물의 지진피해도 및 내진성능 등급 결정	53

V. 내진보강 기본계획	54
1. 일반사항	54
2. 내진보강 기본계획	54
가. 내진보강 및 설계의 흐름	54
나. 내진보강 공법의 선택	58
다. 필요 내진보강량의 산정	58
3. 내진보강 효과의 확인	61
참 고 문 헌	62
부 록	64
【부록 1】 내진성능 예비평가 시트	64
【부록 2】 내진성능 상세평가 시트	75
【부록 3】 내진성능 예비평가 예제	85
【부록 4】 내진성능 상세평가 예제	101

I. 총칙

1. 기본방침

본 내진성능 평가 및 내진보강 기본계획 지침(이하, 지침)은 기존 중·저층 철근콘크리트 학교 건축구조물 (이하, 학교 건물)의 구조체의 내진성능 평가 및 내진보강 기본계획을 수행하기 위해서 사용할 수 있다. 내진성능은 연속량의 수치를 기준으로 설정한 내진성능등급으로 평가가 가능하며, 내진보강 여부를 포함한 내진안전성의 판정은 목표 내진성능 수준에서 결정한 판정기준에 의해서 수행한다. 또한, 내진보강량 산정 등 내진보강 기본계획은 제V장에서 기술한 방법에 의해서 수립할 수가 있다.

[해설]

기존 중·저층 철근콘크리트 학교 건축구조물의 층수는 1층 - 6층을 나타내며, 구조체의 내진성능 평가는 비구조 부재는 제외한다. 내진성능등급은 후술하는 제II.4절의 A, B, C, D, E 등급으로 평가되며, 목표내진성능 수준은 제II.1절에 정의한 500년 재현주기에서는 즉시거주(IO) 수준을, 2400년 재현주기 2/3지진에서는 인명안전(LS) 수준을 만족해야한다.

2. 적용범위

본 지침은 기존 학교 건물을 대상으로 한 내진보강 전·후의 내진성능 확인에 적용하며, 또한 내진보강이 필요한 기존 학교건물에 대해서는 필요 내진보강량 (강도 및 변형)의 산정 등 내진보강 기본계획에 적용할 수가 있다.

본 지침에 의한 내진성능 평가방법은 계산의 수준이 다른 내진성능 예비평가법 및 내진성능 상세평가법의 2단계로 구성되어 있으며, 내진성능 확인만의 목적으로 이용할 경우에는 2가지 방법 가운데 1가지 방법을 이용해도 좋지만, 각각의 내진성능 평가법을 적용 할 경우에는 성능 평가의 목적, 대상건물의 구조특성 등에 대응하여 적절한 방법을 선택한다. 기존 학교건물의 내진성능 확인 및 내진보강을 위한 목적으로 이용할 경우에는 내진성능 상세평가법은 반드시 수행해야한다.

또한, 구체적인 평가법은 본 지침 및 해설에 규정된 방법을 이용하는 것을 원칙으로 하지만, 실험, 상세한 해석 등에 의해서 본 지침의 방법과 동등이상의 평가법이라는 사실이 검증된 경우에는 그 방법을 사용할 수가 있다.

[해설]

내진성능을 단시간에 평가하는 것을 제1목표로 정하였으며, 정밀도가 다소 떨어지지만, 요소요소에 큰 계산가정을 설정하여 가능하다면 방법을 간략화 하였다. 따라서 보다 상세한 검토가 가능한 경우에는 그것에 의해야 하며, 내진성능이 극히 낮은 건물은 보다 상세한 평가법에 의해서 판단해야 한다.

본 평가매뉴얼은 정형의 학교건물에 적합한 방법으로써, 다음과 같은 학교건물은 내진성능 평가 시 주의가 필요하며, 보다 상세한 방법을 수행하는 것을 권장한다.

- 건물의 평면형상 및 입면형상이 정형이 아닌 골조(Π, ㄷ, 곡면 등 요철이 심한 건물)
- 복잡한 개구부를 가지는 벽체가 많은 건물
- 벽체의 배치가 어떤 층에서 불연속인 골조

3. 건물의 조사 및 재료강도

건물의 조사는 기존 학교 건물의 내진성능 평가 시 필요한 구조체의 역학적 성질을 확인하기 위해서 현장조사, 설계도면 수집, 단면치수, 코어 채취에 의한 재료시험 등 적절한 방법에 의해서 수행한다.

가. 설계도면이 없는 경우의 조사

설계도면이 없는 경우 또는 불충분한 경우에는 구조부재의 치수, 철근직경, 배근상황, 코어 채취에 의한 콘크리트 인장강도 등 내진성능 평가에 필요한 항목을 현장실태 조사에 의해서 수집한다.

나. 재료강도의 결정

구조물의 재료강도는 설계도서, 현장실험을 통해 결정할 수 있다. 설계도서에 명기된 설계기준강도는 재료의 하한값으로 간주한다. 평균강도는 각 재료별로 하한값에 다음 표 I.1에 의한 계수를 곱하여 구할 수 있다. 단, 실험결과가 충분할 경우 적절한 값을 적용할 수 있다. 설계도면 강도를 사용할 경우 노후도를 고려하여 표 I.2와 같이 경과년수에 따른 감소계수를 곱하여 사용한다. 내진성능 예비평가의 경우는 표 I.3에 의한 건설연도별 기본값을 사용할 수 있다.

<표 I.1> 재료별 하한치와 평균치 보정계수

재료 특성	계수
콘크리트 압축강도	1.20
철근의 인장 및 항복강도	1.25

<표 I.2> 노후도계수

경과년수	콘크리트 압축강도	조적조 전단강도
30년 이상	0.8	0.3
20년 이상	0.9	0.6
20년 미만-10년 이상	1.0	0.8
10년 미만	1.0	1.0

<표 I.3> 건설연도별 재료의 기본값

건설연도	1970년 이전		1971-1988년 이전		1988-2000		2001년 이후	
	하한값	평균값	하한값	평균값	하한값	평균값	하한값	평균값
콘크리트 강도 (f_{ck} , MPa)	13	15	15	18	18	21	21	24
주근 항복강도 (f_y , MPa)	240	300	240	300	300	375	300	375

[해설]

표 I.1은 재료별 하한치와 평균치의 보정계수를 나타낸 것으로서, 표 I.1은 한국 시설안전기술공단 기존 건축물 내진성능 평가요령(2010)⁽¹⁾의 연구내용을 참조로 하였다. 표 I.2는 설계도면 강도를 사용할 경우의 노후도 계수를 나타낸 것으로서 경과년수에 따른 감소계수를 곱하여 사용한다. 또한, 내진성능 예비평가의 경우는 표 I.3에 의한 건설연도별 기본값을 사용할 수 있다. 표 I.2 및 표 I.3은 한국시설안전 기술공단 기존 건축물 내진성능 평가요령(2010)⁽¹⁾의 연구내용을 참조로 작성하였다.

4. 용어 정의

본 평가요령에 사용되는 주요 용어의 정의는 원칙적으로 '건축공사 표준 시방서 (국토해양부 제정)'에 따른다. 그 밖의 용어에 대해서는 아래의 정의를 따른다.

관성력 : 운동하는 물체에 작용하는 힘으로, 질량×가속도의 크기를 갖고 방향은 가속도와 반대되는 힘이다.

내진성능 평가기준 지진 : 기존 건축물의 내진성능을 평가할 때 기준으로 정한 지진하중의 크기. 본 요령에서는 50년에 10% 초과발생확률의 지진 (500년 재현주기) 및 50년간 초과확률이 2%인 지진(즉 2400년 재현주기의 지진)의 2/3 수준의 지진으로 하였다.

밀면전단력 : 구조물의 밀면에 작용하는 설계용 총 전단력을 말한다.

구조체 성능수준 (Performance Level) 및 범위(range): 평가기준 지진작용 시 지진력에 의해 발생한 구조물의 변형 혹은 손상 등의 다른 구조물의 상태를 규정하기 위해 설정된 단계. 구조물의 성능수준으로는 즉시거주, 인명안전, 붕괴방지의 세 단계, 성능의 범위는 지진피해 제어범위, 제한적인 인명안전 범위로 나뉜다.

스펙트럼 : 진동현상을 각 주파수 성분으로 분해하여 배열한 것. 구조물이 지니는 지진하중과 변위의 관계로, 등가 1자유도의 가속도-변위 관계로 나타낸 곡선을 말한다.

시간영역해석 : 실지진기록 혹은 인공지진기록을 이용하여 지진의 지속시간에 따른 구조물의 동적응답을 구하는 해석법을 말한다.

요구내력 (Required Strength) : 특정의 연성률에 머물기 위한 내력의 한계값을 말한다.

응답 : 어떤 계가 외부로부터 자극을 받아 반응하는 현상. 일반적으로 지진이나 바람 등의 외부 자극에 의해 구조물이 진동하는 현상 등에 쓰인다.

재현주기 : 강우, 홍수, 지진 등과 같이 구조물에 영향을 미치는 환경조건의 강도와 발생의 변동을 통계적으로 표시하는 지표의 하나로서, 이미 관측된 값에 대해서는

각 년의 최대치가 정상적으로 독립하여 발생하는 것으로 어떤 크기 이상의 연 최대치가 몇 년에 한번 발생할 확률이 있는지를 정하여 그 연수를 재현주기라 한다.

전단벽 : 벽의 면대로 횡력을 저항할 수 있도록 설계된 구조체를 말한다.

전단파속도 : 지반의 동적특성을 나타내는 지표의 하나로, 지반의 주기를 결정하거나 지반의 변형률을 결정하기 위해 필요한 요소이다.

지진하중: 구조물의 질량에 설계지진가속도를 곱한 값이다.

최대유효지반가속도(EPA): 최대유효지반가속도는 구조물에 실질적인 영향을 주지 않는 진동수가 높은 가속도 성분을 제외한 가속도 성분으로서, 일반적으로 최대유효지반가속도는 최대지반가속도보다 작다.

층간변위 : 인접 층 사이의 상대 변위를 말한다.

층지진하중 : 건축물의 각 층에 작용하는 지진 하중을 말한다.

보유성능: 건물이 보유하고 있는 기본적인 내진성능을 나타내며, 강도지표, 연성지표에 의해서 계산된다.

강도지표: 수평력에 대해서 건물 또는 부재가 보유하고 있는 강도를 대상층보다 상부층의 총 중량으로 나눈값이다.

연성지표: 부재의 변형능력을 나타내는 지표값을 나타낸다.

극한연성률: 극한변형과 항복변형의 비를 나타낸다.

극단주: h_o/D (기둥의 내치수/단면폭)가 2이하인 기둥을 나타낸다.

단주: h_o/D (기둥의 내치수/단면폭)가 $2 < h_o/D \leq 6$ 인 기둥을 나타낸다.

일반기둥: h_o/D (기둥의 내치수/단면폭)가 6이상인 기둥을 나타낸다.

휨기둥: 휨항복이 전단파괴보다 선행하는 기둥을 나타낸다.

전단기둥: 전단파괴가 휨항복보다 선행하는 기둥을 나타낸다.

요구성능 판정지표: 내진성능 예비평가를 위한 회귀분석에 의해서 도출된 수치를 나타낸다.

Ⅱ. 목표 내진성능 수준 및 내진 성능 등급

1. 목표 내진성능 수준

본 지침에서는 기존 학교건물의 기본 안전 목표 (Basic Safety Objective, BSO)는 표 Ⅱ.1에 나타난 바와 같이 50년에 10% 초과발생확률의 지진 (500년 재현주기)에 대하여는 즉시거주수준(Immediate Occupancy Level)이 되도록 하며, KBC-2009⁽²⁾에 의한 지진하중 즉, 50년에 2% 초과 발생확률 지진 (2400년 재현주기)의 2/3수준에 대하여는 인명안전수준(Life Safety Level, LS)이 되도록 기본 목표내진성능을 설정한다. 내진성능 평가는 기존 학교건물이 이러한 목표성능을 확보하고 있는지를 평가하여야 한다.

<표 Ⅱ.1> 기존 학교건의 기본 목표내진성능 수준

지진위험도	즉시거주(IO)	인명안전(LS)
500년 재현주기	●	×
2400년 재현주기의 2/3	◎	●

●: 기본 목표내진성능(OK) ◎: OK ×: NG

[해설]

• 재현주기 2,475년인 50년에 2% 초과 발생확률의 지진을 최대고려지진(Maximum Considered Earthquake, MCE)이라 하고, 최대고려지진의 2/3수준을 설계지진(Design Basis Earthquake, DBE), 그리고 50년 동안 발생할 수 있는 지진 중에 50%의 초과 확률의 지진(재현주기 72년)을 빈번한 지진(Frequent Occurrence Earthquake, FOE)으로 분류한다. 신축구조물에 대한 국내설계기준인 KBC-2009⁽²⁾에서는 최대고려지진의 2/3수준인 설계지진에 대하여 설계하고 있다.

초과확률	평균재현주기(년)	개략재현주기(년)
50%/50 년	72	75
20%/50 년	225	225
10%/50 년	474	500
2%/50 년	2,475	2500

• FEMA 356⁽³⁾에서는 기존 건축물의 내진성능을 개선할 때, 재현주기에 따른 지반 가속도의 크기에 따라 건축물이 각각 다른 성능목표를 가질 수 있도록 규정하고 있으며, 내진 안전성 검토도 주어진 성능목표에 따라 수행된다. 예를 들어, 기본 안전 목표(Basic Safety Objective, BSO)는, 50년에 10% 초과발생확률의 지진에 대하여는 인명안전수준(Life Safety Level, LS)이 되도록 하고(k점), 50년에 2% 초과 발생 확률의 지진에 대하여는 붕괴방지수준(Collapse Prevention Level, CP)가 되도록 규정하고 있다(p점).

지진위험도	목표성능수준			
	기능수행(OP)	즉시거주(IO)	인명안전(LS)	붕괴방지(CP)
50%/50 년	a	b	c	d
20%/50 년	e	f	g	h

10%/50 년	i	j	k	l
2%/50 년	m	n	o	p

• 학교시설의 중요도계수는 2009년 4월 30일 교육과학기술부장관 고시된 "학교 시설 내진설계기준"에 따라 연면적에 따라 중요도계수를 다시 조정하도록 규정하고 있다. 이는 연면적이 큰 학교건축물의 경우 지진으로 인해 손상이 발생할 경우 학생들의 큰 인명피해가 예상되고, 지진 시 피난시설로 활용하기 위함이다. 연면적이 1,500 m² 이내인 학교시설의 경우 내진 I등급으로 분류하여 중요도계수는 1.2로 정하고, 연면적이 10,000m² 이상인 학교시설의 경우 내진(특)등급으로 분류하여 중요도계수 1.5로 정한다. 연면적이 1,500m² 이상 10,000m² 이하인 경우 연면적에 따라 선형보간하여 사용한다.

연면적 A	중요도 계수 IE
$A < 1500 \text{ m}^2$	1.2
$1500 \text{ m}^2 < A < 10000 \text{ m}^2$	$3/85000 \times (A - 1500) + 1.2$
$A > 10000 \text{ m}^2$	1.5

• 미국에서는 ASCE 41 및 ASCE 31에서 정의된 BSE-1의 지진(최대고려지진의 2/3 혹은 500년 재현주기 지진중 작은 값)과 BSE-2의 지진(최대고려지진, 약 2400년 재현주기 하중에 해당)에 대하여 신축건축물에 대하여 건축물의 중요도별로 다음과 같은 성능수준을 만족하도록 규정하고 있다.

중요도	500년 재현주기 지진	2400년 재현주기 지진
중요도(특)	즉시거주(IO)	인명안전(LS)
중요도(1)	중요도(특)과 중요도(2)의 성능수준의 중간수준: DCR	중요도(특)과 중요도(2)의 성능수준의 중간수준: LSR
중요도(2)	인명안전(LS)	붕괴방지(CP)
중요도(3)	인명안전(LS)	붕괴방지(CP)

• 상기의 연구내용을 바탕으로 본 지침에서는 학교건물의 중요도를 고려하여 일괄적으로 중요도(특)에 해당하는 500년 지진에서는 즉시거주(IO), 2400년 2/3 수준에서는 인명안전(LS)으로 목표성능을 정하였다. 그러나 $A < 1500m^2$ 인 중요도(1)에 해당하는 학교건물은 각각 DCR 및 LSR로 목표성능으로 간주 할 수도 있다.

2. 지진위험도

가. 평가용 지진가속도

내진성능 평가를 위한 기본 지진가속도는 제Ⅱ.2.나절에 나타난 각 지진구역별 500년, 2400년 재현주기 지진의 유효지반가속도(S)로 정의하였으며, 평가용 최대 지진가속도(α)는 유효지반가속도(S)에 제Ⅱ.2.다절에 나타난 지반종류에 따른 지반증폭계수(F_a)(표 Ⅱ.6)를 곱한 단주기의 설계스펙트럼가속도(S_{DS})를 이용하여 식 (2.1) 및 식(2.2)에 의해서 산정한다.

표 Ⅱ.2에는 지반종별에 따른 단주기의 설계스펙트럼가속도(S_{DS})을 나타내며, 표 Ⅱ.3에는 평가용 최대 지진가속도(α)를 나타낸다.

$$\alpha = \frac{S_{DS}}{2.5} = S \times F_a \quad (500\text{년 재현주기의 경우}) \quad (2.1)$$

$$\alpha = \frac{S_{DS}}{2.5} = S \times F_a \times 2/3 \quad (2500\text{년 재현주기 } 2/3 \text{ 수준의 경우}) \quad (2.2)$$

<표 II.2> 재현주기별 단주기 설계스펙트럼 가속도(S_{DS})

지반종류	지역구역 1*		지진구역 2*	
	500년	2400년 2/3	500년	2400년 2/3
S _A	0.22	0.29	0.14	0.19
S _B	0.28	0.37	0.175	0.23
S _C	0.33	0.43	0.21	0.28
S _D	0.44	0.50	0.28	0.35
S _E	0.68	0.70	0.44	0.53

주* 지진구역1 및 지진구역2는 표 II.4참조

<표 II.3> 재현주기별 평가용 최대 지진가속도(α)

지반종류	지역구역 1*		지진구역 2*	
	500년	2400년 2/3	500년	2400년 2/3
S _A	0.09	0.12	0.06	0.08
S _B	0.11	0.15	0.07	0.09
S _C	0.13	0.17	0.08	0.11
S _D	0.18	0.20	0.11	0.14
S _E	0.27	0.28	0.18	0.21

주* 지진구역1 및 지진구역2는 표 II.4참조

나. 지진구역 및 지역계수

우리나라의 지진구역 및 이에 따른 지역계수 값은 표 II.4와 같이 구분한다.

<표 II.4> 지진구역 구분 및 지역계수

지진구역	행정구역	유효지반가속도 S	
		500년 재현주기	2400년 재현주기
1	지진구역 2를 제외한 전지역*	0.11	0.22
2	강원도 북부, 전라남도 남서부, 제주도	0.07	0.14

주* 강원도 북부(군,시) : 홍천, 철원, 화천, 횡성, 평창, 양구, 인제, 고성, 양양, 춘천시, 속초시, 전라남도 남서부(군,시) : 무안, 신안, 완도, 영광, 진도, 해남, 영암, 강진, 고흥, 함평, 목포시

다. 지반의 분류 및 지반증폭계수

1) 지반종류

국지적인 토질조건, 지질조건과 지표 및 지하 지형이 지반운동에 미치는 영향을 고려하기 위하여 지반을 표 II.5와 같이 5종으로 분류한다. 지반의 분류를 위한 지반조사방법은 KBC-2009⁽²⁾의 “0402 지반조사”에 따라 수행한다.

2) 지반분류의 기준면

일반적으로 지반분류는 지표면을 기준으로 정한다. 다만, 지하층을 가진 구조물로써 직접기초를 사용하고 기초저면의 지반종류가 이상의 단단한 지반인 경우에는 기초저면을 지반분류의 기준면으로 사용할 수 있다. 이때 지진에 의하여 지하층구조벽에 작용하는 횡토압에 대하여 상부구조의 안전성을 확보하여야 한다. 말뚝기초를 사용하는 경우에는 지하구조 저면의 지반종류가 이상이고, 건물 진동의 입력이 지하구조

의 지면을 통하여 전달되도록 설계, 시공되는 경우에 한하여 지하구조의 지면을 기준면으로 사용할 수 있으며, 그렇지 않은 경우에는 지표면을 기준면으로 사용하여야 한다. 지반증폭계수는 지반분류에 따라 표 II.6과 같다.

<표 II.5> 지반의 분류

지반 종류	지반종류의 호 칭	상부 30m에 대한 평균 지반특성		
		전단파속도 (m/s)	표준관입시험 \overline{N} (타격횟수/300mm)	비배수전단강도 $\overline{s_u}$ ($\times 10^{-3}$ MPa)
S _A	경암 지반	1500 초과	—	—
S _B	보통암 지반	760에서 1500		
S _C	매우 조밀한 토사 지반 또는 연암 지반	360에서 760	> 50	> 100
S _D	단단한 토사 지반	180에서 360	15에서 50	50에서 100
S _E	연약한 토사 지반	180 미만	< 15	< 50

<표 II.6> 지반증폭계수 F_a

지반종류	지진구역		
	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.50$	$S_s = 0.75$
S _A	0.8	0.8	0.8
S _B	1.0	1.0	1.0
S _C	1.2	1.2	1.1
S _D	1.6	1.4	1.2
S _E	2.5	1.9	1.3

* S_s 는 S 를 2.5배한 값이다. 위 표에서 S_s 의 중간값에 대하여는 직선 보간한다.

[해설]

KBC-2009⁽²⁾ 지진하중 참조를 하여 제Ⅱ.2.가절, 제Ⅱ.2.나절 및 제Ⅱ.2.다절을 작성하였다.

3. 구조체의 성능수준 및 범위의 정의

구조물의 성능수준은 지진에 의한 구조체의 손상정도에 따라 표 Ⅱ.7과 같이 기능수행 성능수준(Operational level, OP), 즉시거주 성능수준(Immediate Occupancy level, IO), 지진피해 제어범위(Damage Control Range, DCR), 인명안전 성능수준(Life Safety level, LS), 제한적인 인명안전 범위(Limited Safety Range, LSR), 붕괴방지 성능수준(Collapse Prevention level, CP)의 6가지로 정의한다.

FEMA 356⁽³⁾에서는 각 성능수준에 해당하는 층간변위각이 구조형식별로 제시하고 있으나 층간변위각은 같은 구조형식이라 할지라도 개별구조물의 특성에 따라 편차가 크므로 본 요령에서는 각 부재별로 극한강도 및 연성능력을 토대로 성능수준을 평가하고 이를 통해 구조물전체의 내진성능등급을 판정한다.

<표 Ⅱ.7> 구조체의 손상정도에 따른 성능수준 및 범위

성능수준	전반적인 지진피해 정도	상세
기능수행 성능수준 (Operational level, OP)	경미	구조물 피해의 최소 수준을 나타낸다. 기능수행 수준을 만족하는 기존 학교건물은 지진이 발생한 경우 구조시스템에 단지 무시할만한 손상이 발생한 경우이다. 또한 구조체는 지진 피해를 입기 전의 강도와 강성을 거의 보유하고 있으며, 기능수행 수준을 만족하는 학교건물은 지진 발생동안의 인명안전에 대한 위험은 무시한다.
즉시거주 성능수준	소규모	지진 후 구조물의 피해는 소규모이며 중력, 지진력저항시스템은

(Immediate Occupancy level, IO)		지진전의 강성과 강도를 보유하고 있다. 구조부재의 손상으로 인명에 피해를 입을 가능성은 매우 낮으며 손상부재에 대한 보수가 필요하지만 즉시거주를 위해 반드시 필요하지는 않다.
지진피해 제어범위 (Damage Control Range, DCR)	IO와 LS의 중간수준	즉시거주 성능수준과 인명안전 성능수준의 연속성을 고려한 성능 범위로써, 내진보수 및 보강을 최소화 할 수 있는 범위이다.
인명안전 성능수준 (Life Safety level, LS)	중규모	구조부재에 상당한 피해가 발생하여 원래의 횡강성과 강도를 손실한 경우이지만 붕괴에 대해서는 여전히 여력을 보유하고 있다. 구조물은 영구적인 변형을 보이며 지진력저항시스템의 몇몇 요소에서 충분한 균열, 파단, 항복, 그리고 좌굴을 보일 수 있으나 구조부재의 손상으로 인한 인명손실의 위험은 낮다. 구조부재의 보수는 가능하지만 경제적이지 않을 수도 있다. 당장 무너지지는 않으나 거주를 위해서는 내진보수와 보강이 요구된다.
제한적인 인명안전 범위 (Limited Safety Range, LSR)	LS와 CP의 중간수준	LS와 CP의 중간수준
붕괴방지 성능수준 (Collapse Prevention level, CP)	대규모	구조물이 심각한 피해를 입은 상태로 국부적 혹은 전체적으로 붕괴의 가능성이 있다. 지진력저항시스템에 상당한 강도 및 강성의 저하가 있으며 횡방향 영구변형이 있다. 그러나 중력하중 저항시스템은 여전히 하중을 지지할 수 있다. 구조부재의 박락 등으로 인명피해가 생길 수 있으며 일반적인 보수보강 후에도 거주에 안전하지 않을 수 있다. 여진으로 인해 붕괴가 발생할 수 있다.

[해설]

FEMA 356⁽³⁾ 및 일본진단법⁽⁴⁾을 참조로 표 II.7의 구조체의 손상정도에 따른 성능수준 및 범위를 작성하였다.

4. 내진성능 등급의 결정

본 지침에 의한 내진성능평가결과는 A-E단계의 5등급으로 판정하며 각 내진성능 등급에 해당하는 학교건물의 구조체의 상태는 표 II.8과 같다.

<표 II.8> 내진성능평가에 의한 구조물의 내진성능등급의 정의

등급부호	상 태
A등급	문제점이 없는 최상의 상태. 평가기준 지진작용 시 구조부재의 피해는 무시할만 하며 비구조체에 손상이 있으나 거주에 안전하며 매우 간단한 보수와 청소를 통해 기능을 수행할 수 있음.
B등급	평가기준 지진 작용 시 구조물은 원래 횡강성과 강도를 손실하나 붕괴에 대해서는 여전히 여력을 보유하고 있음. 구조물은 영구변형이 발생하지만, 규모는 소규모이며, 지진 발생동안 인명안전에 대한 위험은 매우 낮음. 보수 및 보강을 최소화 할 수 있으며, 간략한 보수에 의해서 기능을 수행할 수 있음. 장기적인 측면에서 내진보강 계획을 수립하는 것이 바람직함.
C등급	평가기준 지진 작용 시 구조부재에 중규모 정도의 피해가 예상됨. 대부분 강도와 강성저하가 크게 일어나지만 수직하중저항시스템의 저항력에 의해 붕괴는 일어나지 않음. 여진에 의해 붕괴가능성이 있으므로 거주에 적합하지 않음. 내진보강설계에 의해서 내진보강을 실시하여 목표 내진성능을 확보해야 함.
D등급	평가기준 지진작용 시 일부 수직하중저항시스템이 연직하중저항능력을 소실하여 부분적인 붕괴가 발생함. 내진보강설계에 의해서 내진보강을 실시하여 목표 내진성능을 확보해야 함.
E등급	평가기준 지진작용 시 수직하중저항시스템이 연직하중저항능력을 소실하여 전면적인 붕괴가 발생함. 경제성분석에 의해 전체 구조의 성능개량이나 철거를 판단하고, 성능개량 판정 시에는 내진보강설계에 의한 구조의 성능을 전면적으로 개량하여 내진성능을 향상

[해설]

FEMA 356⁽³⁾, 일본진단법⁽⁴⁾, 한국시설안전기술공단 내진성능평가 요령⁽¹⁾을 참조로 5등급으로 정하였다.

가. 내진성능 예비평가 결과 및 내진성능 등급

본 지침에 의한 내진성능 예비평가 결과와 내진등급과의 관계는 표 II.9와 같다.

<표 II.9> 내진성능 예비평가 결과와 내진등급과의 관계

피해구분	성능수준	내진성능평가 점수 (SES)	내진성능 등급	
			500년 재현주기	2400년 재현주기 2/3
경미한 피해	OP	$SES \geq 120$	A	A
		$110 \leq SES < 120$		
		$100 \leq SES < 110$		
소규모 피해	IO	$SES \geq 120$		
		$110 \leq SES < 120$		
		$100 \leq SES < 110$		
중규모 피해	DCR	$SES \geq 120$	B	B
	LS	$110 \leq SES < 120$	C	
		$100 \leq SES < 110$	D	
대규모 피해	LSR	$90 \leq SES < 100$	E	C
	CP	$70 \leq SES < 90$		D
붕괴	C	$50 \leq SES < 70$		E
		$0 \leq SES < 50$		E

[해설]

내진성능 예비평가와 내진등급과의 관계 등 내진성능 예비평가와 관련한 이론적 연구배경 및 고찰은 참고문헌 [5][6][7][8]에 나타난 내진성능 예비 평가 연구자료를 참조 바람.

나. 내진성능 상세평가 결과 및 내진성능 등급

본 지침에 의한 내진성능 상세평가 결과와 내진등급과의 관계는 표 II.10과 같다.

<표 II.10> 내진성능 상세평가 결과와 내진등급과의 관계

피해구분	성능수준	잔존 내진성능 (RSC)	내진성능 등급	
			500년 재현주기	2400년 재현주기 2/3
경미한 피해	OP	$RSC \geq 95$	A	A
소규모 피해	IO	$80 \leq RSC < 95$		
중규모 피해	DCR	$70 \leq RSC < 80$	B	
	LS	$60 \leq RSC < 70$	C	B
대규모 피해	LSR	$50 \leq RSC < 60$	D	
	CP	$20 \leq RSC < 50$	E	C
붕괴	C	$10 \leq RSC < 20$		D
		$0 \leq RSC < 10$		E

[해설]

내진성능 상세평가와 내진등급과의 관계 등 내진성능 예비평가와 관련한 이론적 연구배경 및 고찰은 참고문헌 [5][9]에 나타난 내진성능 상세평가 연구자료를 참조 바람.

5. 내진성능 판정법

내진성능평가 결과에 의한 구조물의 내진성능 판정법은 표 II.11과 같다.

<표 II.11> 내진성능평가에 의한 구조물의 내진성능 판정법

등급 부호	지진 재현주기별 성능수준		예비평가	상세평가	조 치
	500년	2400년 2/3			
A등급	IO 이하	LS 이하	OK	OK	일상적인 유지관리
B등급	DCR	LSR	OK	OK	간략한 보수나 보강에 의해 기능수행
C등급	LS	CP	상세평가 실시	보강	내진보강설계에 의한 보강을 실시하여 내진성능을 향상
D등급	LSR	C	상세평가 실시	보강	내진보강설계에 의한 보강을 실시하여 내진성능을 향상
E등급	CP 이상	C	상세평가 실시	보강/철거판단	경제성분석에 의해 전체 구조의 성능개량이나 철거를 판단하고, 성능개량 판정 시에는 내진보강설계에 의한 구조의 성능을 전면적으로 개량하여 내진성능을 향상

Ⅲ. 내진성능 예비평가

1. 일반사항

내진성능 예비평가는 제Ⅱ.2.가절에 나타난 평가용 지진가속도 수준에 대해서 수직부재(기둥, 벽체 및 끼움조적조)의 재료강도와 단면치수에 의해서 약산적으로 계산되는 구조체의 극한강도에 의해서 수행되는 것을 원칙으로 한다. 다만, 수직부재의 극한강도 및 파괴모드의 정확성을 높이기 위한 목적으로 제Ⅳ.3.가절에 나타내는 수직부재의 극한강도 정산식에 의해서 구조체의 극한강도를 계산하여 예비평가를 실시해도 된다. 또한, 본 지침에 의한 내진성능 예비평가에서는 평가 학교건물의 1층의 장변방향(이하, X방향) 및 단변방향(이하, Y방향)에 대해서 각각 독립적으로 수행하는 것을 원칙으로 한다.

[해설]

수직부재 구조체의 극한강도는 대상부재의 단면적을 이용하여 평균전단응력도법 (Average Shear Stress Method: FEMA 356⁽³⁾ 및 일본 내진진단법⁽⁴⁾참조)에 의해서 계산하는 것이 원칙으로 한다. 그러나 제Ⅳ.3.가절에 나타내는 극한강도 정산식을 이용하여 수직부재의 극한강도 및 파괴형식(전단 및 휨파괴) 계산하여 제Ⅲ.3절에 나타내는 예비성능 평가의 부재의 극한강도로 대치가 가능하다.

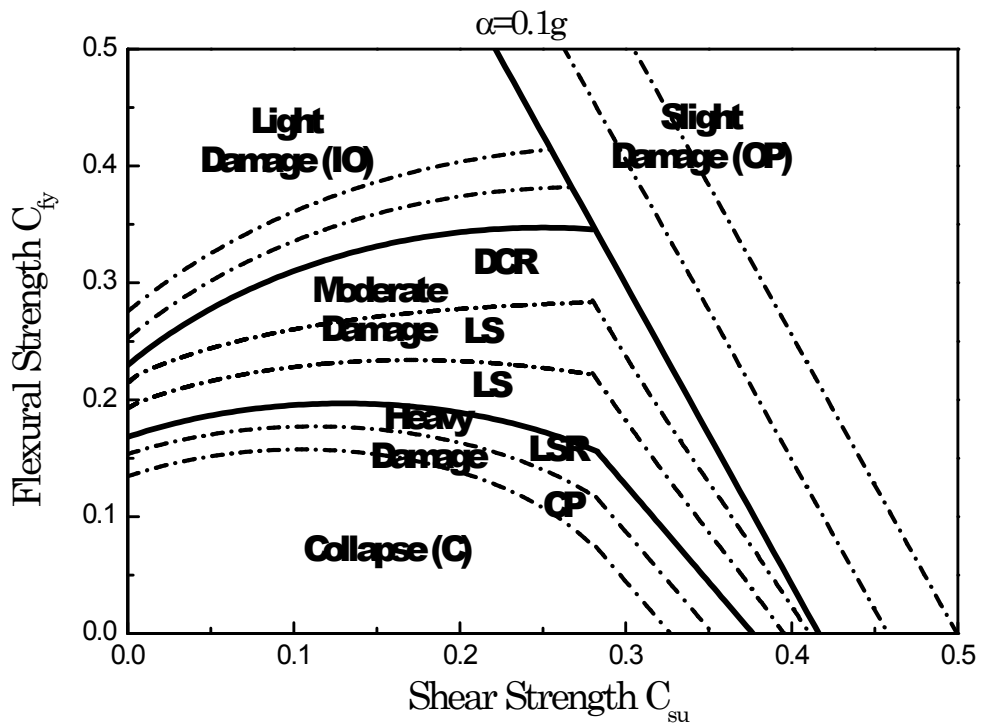
내진성능 예비평가에 관한 이론적 연구자료는 참고문헌 [5][6][7][8]에 나타난 내진성능 예비평가의 연구자료에 상세하게 기술한다.

2. 평가용 지진가속도 산정

내진성능 예비평가를 위한 입력 지진가속도(α)는 식(2.1) 및 식(2.2)에 의해서 산정을 하며, 표 Ⅱ.3을 이용하여 재현주기별 평가용 최대 지진가속도를 선택 가능하다. 단, 지진가속도의 범위는 $0.1g \leq \alpha \leq 0.3g$ 이며, $0.1g$ 이하인 경우는 $0.1g$ 를 이용하는 것을 권장하지만, 정산을 위해서는 선형보간하여 직접 예비평가를 수행할 수 있다.

[해설]

지진가속도의 계산범위 범위는 $0.1g \leq a \leq 0.3g$ 이며, $0.1g$ 이하인 경우(표 II.3의 지진구역 2의 0.06, 0.07, 0.08, 0.09)는 $0.1g$ 를 이용하는 것을 권장하지만, 정산을 위해서는 다음 그림을 참고로 선형보간하여 직접 예비평가를 수행하여도 된다.



3. 전단 및 휨파괴형 부재 내력산정

본 지침에 의한 예비평가에서는 휨파괴형 부재는 표 III.1에서 정의하는 일반기둥에 국한하며, 전단파괴형 부재는 표 III.1에서 정의하는 극단주, 단주, R/C 전단벽체 및 끼움조적조로 분류한다.

<표 III.1> 내진성능 예비평가의 수직부재 분류 및 정의

명칭		정의
휨과괴형 부재	일반기둥	$h_o/D \geq 6$ 인 독립기둥 (그림 III.1 참조)
전단파괴형 부재	극단주	$h_o/D \leq 2$ 인 독립기둥 (그림 III.1 참조)
	단주	$2 < h_o/D < 6$ 인 독립기둥 (그림 III.1 참조)
	벽체	라멘내에 포함되지 않는 벽체도 포함 (표 III.4 참조)
	끼움조적조	조적조 채움벽체 (표 III.5 참조)

주 h_o : 기둥의 내치수 (그림 III.1 참조), D : 기둥의 단면폭

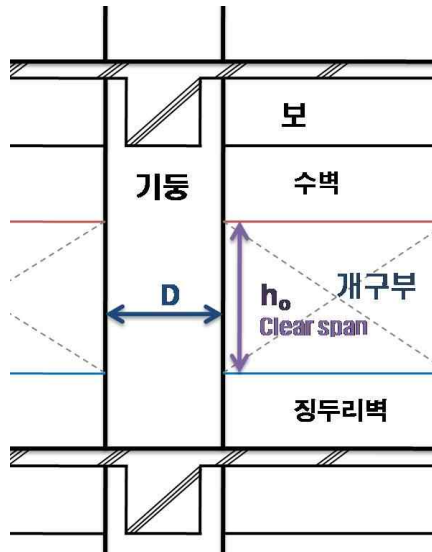
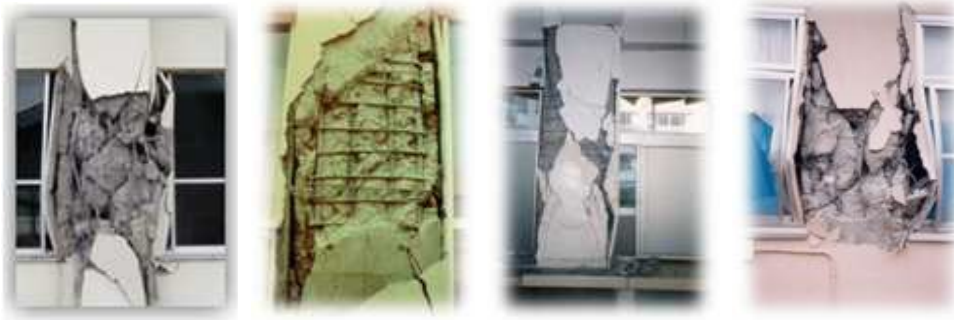


그림 III.1 기둥의 내치수 (h_o)

[해설]

- 극단주($h_0/D \leq 2$ 인 독립기둥)의 지진피해사례



가. 휨과괴형 부재의 극한내력

대상건물 1층의 X 및 Y방향에 대한 휨과괴형 부재 (일반기둥)의 종곡강도(C_{fy})을 식(3.1)에 의해서 계산한다. 식(3.1) 가운데 바닥면적당 단위중량(w)은 건물자중에 지진용 적재하중을 합한 것으로서, 특별한 계산을 하지 않은 경우에는 $w=10 \text{ kPa}$ (1000 kgf/m^2)을 사용해도 좋다.

$$\left(C_{fy} = \frac{V_{fy}}{\sum A_f \cdot w} = \frac{\tau_{fc} \sum a_{fc}}{\sum A_f \cdot w} \right) \quad (3.1)$$

여기서, $\sum a_{fc}$: 일반기둥의 단면적 합 (표 III.2 참조)

τ_{fc} : 일반기둥의 평균 전단응력도 (표 III.2 참조)

$\sum A_f$: 대상건물 전층의 바닥면적 합

w : 바닥면적당 단위중량

<표 III.2> 건축시기별 일반기둥의 평균전단응력도

단위: MPa (kgf/cm²)

기둥분류		건설연도			
		1970년 이전	1971년 -1987년	1988년 -2000년	2001년이후
휨 파괴	일반기둥 (h _o /D ≥ 6)	0.73 (7.3)	0.74 (7.4)	0.85 (8.5)	0.86 (8.6)

나. 전단파괴형 부재의 극한내력

대상건물 1층의 X 및 Y방향에 대한 전단파괴형 부재의 종국강도(C_{su})을 식(3.2)에 의해서 계산한다. 식(3.2) 가운데 바닥면적당 단위중량(w)은 건물자중에 지진용 적재하중을 합한 것으로서, 특별한 계산을 하지 않은 경우에는 $w=10$ kPa (1000 kgf/m²)을 사용해도 좋다.

$$\left(C_{su} = \frac{V_{su}}{\sum A_f \cdot w} = \frac{\tau_{sc} \sum a_{sc} + \tau_{oc} \sum a_{oc} + \tau_{sw} \sum a_{sw} + \tau_{bw} \sum a_{bw}}{\sum A_f \cdot w} \right) \quad (3.2)$$

여기서, $\sum a_{sc}$: 극단주의 단면적 합 (표 III.3 참조)

τ_{sc} : 극단주의 전단응력도 (표 III.3 참조)

$\sum a_{oc}$: 단주의 단면적 합 (표 III.3 참조)

τ_{oc} : 단주의 전단응력도 (표 III.3 참조)

$\sum a_{sw}$: 벽체의 단면적 합 (표 III.4 참조)

τ_{sw} : 벽체의 전단응력도 (표 III.4 참조)

$\sum a_{bw}$: 조적채움벽의 단면적 합 (표 III.5 참조)

τ_{bw} : 조적채움벽의 전단응력도 (표 III.5 참조)
$\sum A_f$: 대상건물 전층의 바닥면적 합
w : 바닥면적당 단위중량

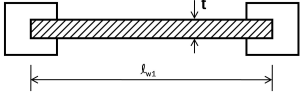
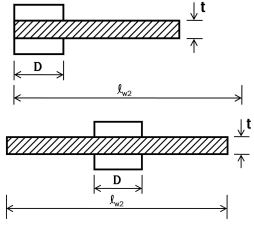
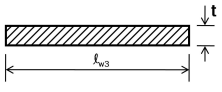
<표 III.3> 건축시기별 극단주 및 단주의 평균전단응력도

단위: MPa (kgf/cm²)

기둥분류		건설연도			
		1970년 이전	1971년 -1987년	1988년 -2000년	2001년이후
전단파괴	극단주 ($h_o/D \leq 2$)	1.30 (13.0)	1.35 (13.5)	1.43 (14.3)	1.50 (15.0)
	단주 ($2 < h_o/D < 6$)	1.14 (11.4)	1.18 (11.8)	1.24 (12.4)	1.30 (13.0)

<표 III.4> 벽체의 평균전단응력도

단위: MPa (kgf/cm²)

양측에 기둥이 있는 벽	한쪽에 기둥이 있는 벽	기둥이 없는 벽
		
$\tau_{sw} = 3(30), a_{sw} = t \times l_{w1}$	$\tau_{sw} = 2(20), a_{sw} = t \times l_{w2}$	$\tau_{sw} = 1(10), a_{sw} = t \times l_{w3}$

<표 III.5> 끼움조적조의 평균전단응력도

단위: MPa (kgf/cm²)

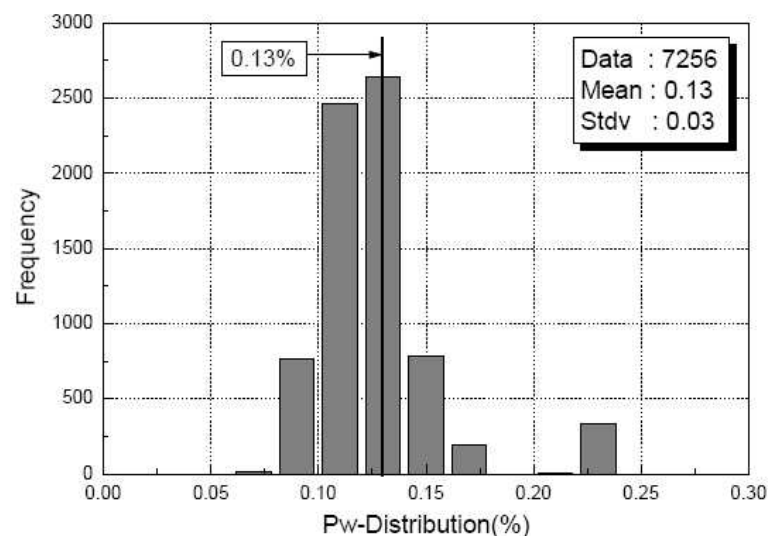
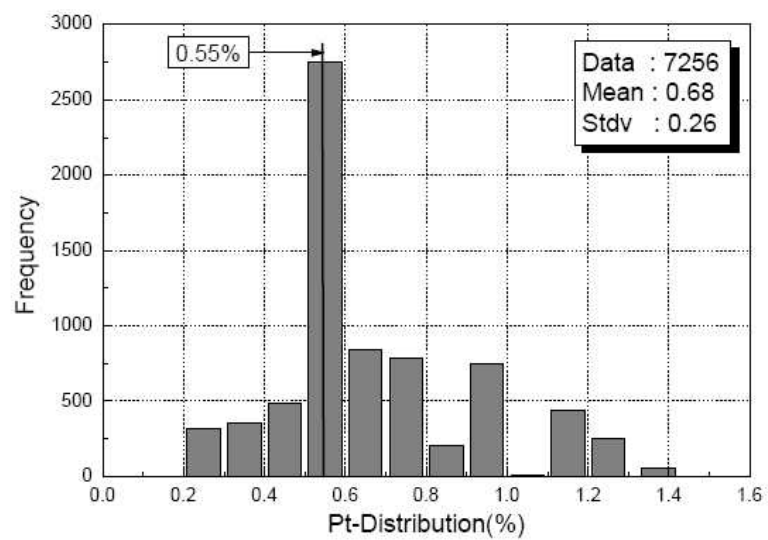
종류	전단응력도 및 단면적	종류	전단응력도 및 단면적
양측에 기둥이 있는 조적채움 벽	$\tau_{bw} = 0.6(6) , \quad a_{bw} = t \cdot L_w$	한쪽만 기둥이 있는 조적채움 벽	$\tau_{bw} = 0.2(2) , \quad a_{bw} = t \cdot L_w$
기둥이 없는 조적채움 벽	$\tau_{bw} = 0.0$		$\tau_{bw} = 0.2(2) , \quad a_{bw} = t \cdot L_w$

[해설]

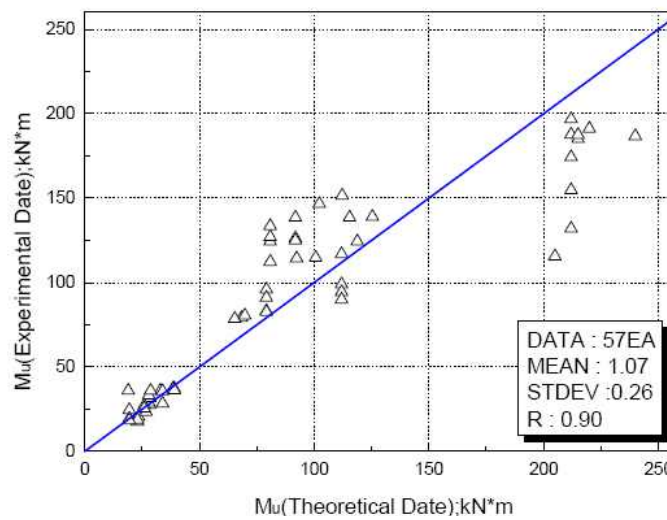
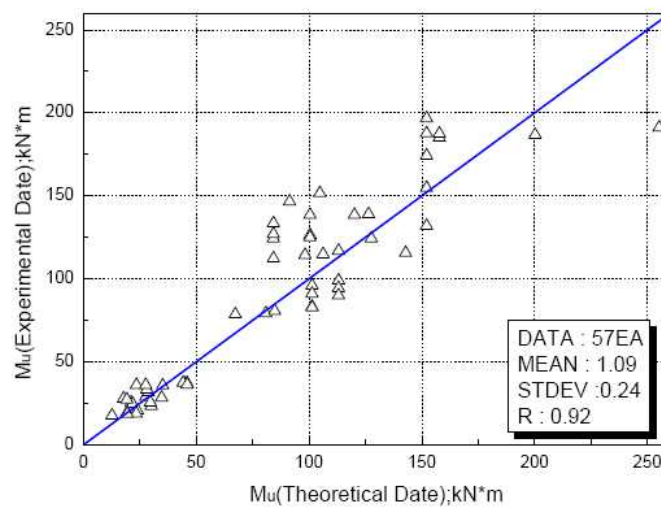
(1) 기둥의 파괴모드와 평균전단응력도의 계산가정

- 일반기둥, 단주, 극단주를 구분하여 휨내력과 전단내력을 계산하여 파괴모드 및 평균 전단응력도를 제안하였다.
- 계산가정: 표 III.2 및 표 III.3은 건설연도별 재료의 기본값 사용, 기둥의 단면적은 40*40, 계산에 필요한 변수(기둥단면적, 인장철근비, 횡보강근 비, 축응력도)는 7256개의 기둥자료를 바탕으로 계산함 (아래 표 및 그림 참조)⁽¹⁰⁾.

극한 평균전단응력도 산정의 변수	변수값
인장철근비	0.55%
형보강근비	0.13%
평균 축응력도	2.0MPa



(2) 휨내력 계산식(일본 내진진단기준⁽⁴⁾, ACI 318⁽¹⁵⁾) 및 계산결과: 57실험 데이터를 비교한 결과 거의 동일하였으며, 따라서 간단한 일본 내진진단식 이용하여 휨내력을 산정하였음.



$$\begin{aligned}
& \text{▶ } [P_{\max} \geq P > 0.4bDf_{ck}] \text{ 일 때} \\
& \quad M_u = (0.8A_s f_y D + 0.12bD^2 f_{ck}) \left(\frac{P_{\max} - P}{P_{\max} - 0.4bDf_{ck}} \right) \\
& \text{▶ } [0.4bDf_{ck} \geq P > 0] \text{ 일 때} \\
& \quad M_u = 0.8A_s f_y D + 0.5PD \left(1 - \frac{P}{bDf_{ck}} \right) \\
& \text{▶ } [0 > P \geq P_{\min}] \text{ 일 때} \\
& \quad M_u = 0.8A_s f_y D + 0.4PD
\end{aligned}$$

(일본 내진진단기준 휨내력식)⁽⁴⁾

$$\begin{aligned}
& \text{▶ } P_u = 0.85f_{ck}ab + A_s' f_s' - A_s f_s \\
& \text{▶ } M_u = P_u e = 0.85f_{ck}ab \left(\frac{D}{2} - \frac{a}{2} \right) + A_s' f_s' \left(\frac{D}{2} - d' \right) + A_s f_s \left(d - \frac{D}{2} \right)
\end{aligned}$$

(ACI 318 휨내력식)⁽¹⁵⁾

(3) 전단내력 계산식: 일본 내진진단기준⁽⁴⁾, FEMA 356⁽³⁾, ACI 318-간편식⁽¹⁵⁾ 및 ACI 318-상세식⁽¹⁵⁾을 이용하여 상기 (2)의 휨내력 결과와 비교 및 검토하여 기둥의 종류 별 평균 전단응력도를 도출하였다.

1. 일본 내진진단 표준식(JBDPA Code)

$$V_{SL1} = 0.85 \sqrt{\rho_{sy}} bd + \left(\frac{0.053 \rho_t^{0.23} (18 + f_{ck})}{M/(Vd) + 0.12} + \frac{P}{10A_g} \right) bd$$

2. FEMA 356 Code

$$V_{SL2} = k_1 \frac{A_s f_{sy} d}{s} + \lambda k_2 \left(\frac{0.5 \sqrt{f_{ck}}}{M/(Vd)} \sqrt{1 + \frac{P}{0.5 \sqrt{f_{ck}} A_g}} \right) 0.8A_g$$

3. ACI 318 - 간편식

$$V_{SL3} = \frac{A_s f_{sy} d}{s} + \frac{1}{6} \sqrt{f_{ck}} bd \left(1 + \frac{P}{14A_g} \right)$$

4. ACI 318 - 상세식

$$\begin{aligned}
V_{SL4} &= \frac{A_s f_{sy} d}{s} + \frac{1}{6} \sqrt{f_{ck}} bd + \frac{17.6 \rho_w V d}{M - P \frac{4D-d}{8}} bd \leq V_{\max} \\
V_{\max} &= 0.29 \sqrt{f_{ck}} bd \left(1 + \frac{P}{3.5A_g} \right)
\end{aligned}$$

(전단내력 산정식)

(4) 기둥의 파괴모드와 평균전단응력도 계산 결과

- 일반기둥($h_0/D \geq 6$) : 휨내력 < 전단내력: 휨파괴가 지배적임.

년도	휨내력		전단내력					
			JBDPA Code	ACI 318 - 간편식	ACI 318 - 상세식	FEMA 356 ($\mu < 2$)	FEMA 356 ($2 < \mu < 4$)	FEMA 356 ($\mu > 4$)
1970이전	휨력 (kN)	116.62	141.54	127.84	123.74	151.65	134.89	118.14
	기둥응력 (MPa)	0.73	0.88	0.80	0.77	0.95	0.84	0.74
1971-1987	휨력 (kN)	117.81	145.33	134.36	129.44	157.74	140.07	122.40
	기둥응력 (MPa)	0.74	0.91	0.84	0.81	0.99	0.88	0.76
1988-2000	휨력 (kN)	136.25	151.02	153.36	147.31	166.09	157.15	128.25
	기둥응력 (MPa)	0.85	0.94	0.96	0.92	1.04	0.98	0.80
2001 이후	휨력 (kN)	136.89	156.70	161.65	155.71	173.73	163.64	133.59
	기둥응력 (MPa)	0.86	0.98	1.01	0.97	1.09	1.02	0.83

- 단주($2 < h_o/D < 6$): 휨내력 > 전단내력: 전단파괴가 지배적임.

년도	휨내력		전단내력					
			JBDPA Code	ACI 318 - 간편식	ACI 318 - 상세식	FEMA 356 ($\mu < 2$)	FEMA 356 ($2 < \mu < 4$)	FEMA 356 ($\mu > 4$)
1970이전	휨력 (kN)	233.24	182.72	127.84	130.62	207.51	182.37	157.24
	기동응력 (MPa)	1.46	1.14	0.80	0.82	1.30	1.14	0.98
1971-1987	휨력 (kN)	235.61	189.17	134.36	136.33	216.64	190.13	163.63
	기동응력 (MPa)	1.47	1.18	0.84	0.85	1.35	1.19	1.02
1988-2000	휨력 (kN)	272.51	198.84	153.36	154.20	229.17	210.77	172.40
	기동응력 (MPa)	1.70	1.24	0.96	0.96	1.43	1.32	1.08
2001 이후	휨력 (kN)	273.78	208.51	161.65	163.74	240.62	220.50	180.42
	기동응력 (MPa)	1.71	1.30	1.01	1.02	1.50	1.38	1.13

- 극단주($h_o/D \leq 2.0$): 휨내력 > 전단내력: 전단파괴가 지배적임.

년도	휨내력		전단내력					
			JBDPA Code	ACI 318 - 간편식	ACI 318 - 상세식	FEMA 356 ($\mu < 2$)	FEMA 356 ($2 < \mu < 4$)	FEMA 356 ($\mu > 4$)
1970	휨력 (kN)	349.87	227.93	127.84	137.51	207.51	182.37	157.24
이전	기둥응력 (MPa)	2.19	1.42	0.80	0.86	1.30	1.14	0.98
1971-1987	휨력 (kN)	353.42	237.30	134.36	143.21	216.64	190.13	163.63
	기둥응력 (MPa)	2.21	1.48	0.84	0.90	1.35	1.19	1.02
1988-2000	휨력 (kN)	408.76	251.34	153.36	161.08	229.17	210.77	172.40
	기둥응력 (MPa)	2.55	1.57	0.96	1.01	1.43	1.32	1.08
2001 이후	휨력 (kN)	410.67	265.39	161.65	171.77	240.62	220.50	180.42
	기둥응력 (MPa)	2.57	1.66	1.01	1.07	1.50	1.38	1.13

(5) 건축시기별 기둥의 평균전단응력도 제안

기둥분류		건설연도단위: MPa (kgf/cm ²)			
		1970년 이전	1971년 -1987년	1988년 -2000년	2001년 이후
전단파괴	극단주	1.30 (13.0)	1.35 (13.5)	1.43 (14.3)	1.50 (15.0)
	단주	1.14 (11.4)	1.18 (11.8)	1.24 (12.4)	1.30 (13.0)
휨파괴	일반기둥	0.73 (7.3)	0.74 (7.4)	0.85 (8.5)	0.86 (8.6)

[해설]

끼움조적벽체의 평균전단응력도 표 III.5에 나타난 바와 같이 주위의 철근콘크리트 프레임에 의한 벽체의 구속상태로 분류하여,

- ① 양측에 기둥이 있는 끼움조적벽체 : 0.6 MPa (6 kg/cm^2)
- ② 한쪽만 기둥이 있는 끼움조적벽체 : 0.2 MPa (2 kg/cm^2)
- ③ 기둥이 없는 끼움조적벽체 : 0.0 (내력 무시)

로 정의한다.

끼움조적벽체의 항복 시 전단응력도는 국내에서 실시한 실험결과를 토대로 설정하였다. 참고한 데이터는 철근콘크리트 프레임 면내에 시멘트벽돌을 충전한 실험체를 대상으로 한 것이다(아래 표에 수집한 데이터 일람을 나타냄). 실험변수는 개구부의 유무, 개구부의 보강형식, 조적의 시공순서(선쌓기/후쌓기) 등이 이며, 다음과 같은 조건에 한정시켰다.

- ① 조적의 시공순서는 국내에서 일반적인 「조적 후쌓기」에 한정한다.
- ② 끼움조적벽체와 주위 철근콘크리트 프레임과의 일체성 개선을 목적으로 한 시공(아래표에 「cut off」로 표시) 이외의 일반적인 시공관행에 의한 것에 한정한다.
- ③ 개구부가 있는 끼움조적벽체에 대해서는 개구부 보강이 없는 것에 한정한다.

실험결과의 정리는 이하의 방침에 따르며, 본 연구에서는 끼움조적벽체를 갖는 철근콘크리트 프레임의 내력을 철근콘크리트 기둥 및 끼움조적벽체의 단순합으로 평가하였다. 따라서 각각의 부재의 내력을 아래와 같이 산정하였다.

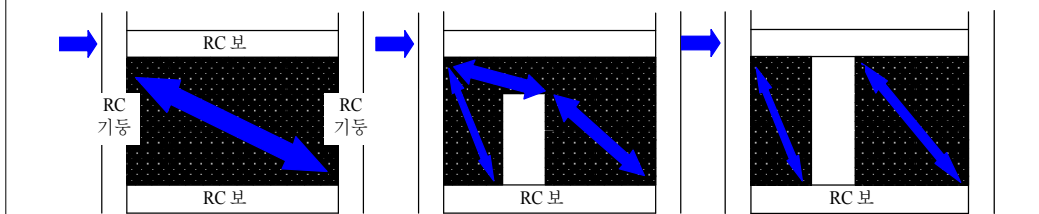
- ① 끼움조적벽체 파괴 시(변형 Δ)의 기둥 및 끼움조적벽체 전체의 내력 ($_{BIW}Q_{\max}$)을 산출한다.
- ② 순수 철근콘크리트 프레임의 하중-변형 관계로부터 상기 ①의 변형 시(Δ)의 철근콘크리트 기둥 기여분 ($_{RC}V_{\Delta}$)을 산출한다.
- ③ 양자의 차 ($_{BIW}Q_{\max} - _{RC}V_{\Delta}$)를 프레임의 최대내력 시의 끼움조적벽체의 기여분 (V_{\max})으로 한다.

④ 상기의 V_{max} 를 끼움조적벽체의 단면적 (개구부가 있는 실험체에서는 개구부를 제외)으로 나누어 이것을 끼움조적벽체의 항복강도 시 평균전단응력도 τ_{bw} 로 한다.

아래 표에 상기의 방침에 따라 산정한 τ_{bw} 를 나타낸다. 상기 ①~③의 조건에 맞는 실험체는 무개구 및 유개구 실험체에서 각각 3개씩으로, 수집된 데이터 수가 적고 전단응력도의 편차가 크지만 끼움조적벽체의 전단응력도 τ_{bw} 의 평균치를 산정하여 보면 무개구 실험체는 0.78 MPa (7.8 kg/cm²), 유개구 실험체는 0.52 MPa (5.2 kg/cm²)이다.

상기의 결과에 부연하여 실제건물에서는 줄눈 모르타르의 충전상황과 조적개체의 품질의 편차가 있고, 실험체는 축소모델이므로 실제 전단응력도보다 과대평가할 가능성이 있으며, 장스팬 프레임 내의 끼움조적벽체는 면외로의 전도 등에 의한 강도 손실이 예상되는 것을 고려하여 무개구 끼움조적벽체의 평균전단응력도를 0.6 MPa (6kg/cm²)으로 설정하였다.

또한 기둥이 한쪽에만 있는 끼움조적벽체에서는 다음 그림에 나타난 바와 같이 벽체의 좌우 중 어느 1변에서는 기둥에 의한 구속이 없으므로 줄눈의 미끌림 파괴 등이 발생할 가능성이 높기 때문에 항복 시 전단응력도는 기둥이 양측에 있는 경우의 1/3정도의 0.2 MPa (2 kg/cm²)으로 설정하였다 (참고로, 대만 成功大學, 許茂雄 교수의 실험에 의하면 기둥이 양측에 있는 끼움조적벽체의 항복 시 전단응력도 τ_{bw} 는 평균 0.7~0.8 MPa (7~8 kg/cm²)정도이며, 기둥이 한쪽에만 있는 끼움조적벽체의 τ_{bw} 는 평균 0.4 MPa (4 kg/cm²)정도라고 보고하였다). 또한 끼움조적벽체를 구속하는 철근콘크리트 기둥이 좌우의 어느 쪽에도 없는 끼움조적벽체는 그 강도를 기대하지 않는 것으로 하였다.



(끼움조적벽체의 응력 전달기구)

(끼움조적벽체 실험체의 실험결과)

	참고 문헌	실험 체명	변수	$BIW V_{max}$ (kN) ^{*1}	Δ ^{*2} (mm)	h_0 ^{*3} (mm)	Δ/h_0	$RC V_{max}$ (kN) ^{*4}	$RC V_{\Delta}$ (kN) ^{*5}	V_{max} (kN) ^{*6}	벽단면적 (m^2)	전단응력 σ_v ^{*7} (N/mm^2)	비 고			
													축력 (kN)	가력 방식		
프레임 구속에 따른 프레임 면내 조적 벽체	(1)	bare	순수프레임					81.8					양 기둥	cyclic		
		infilled	조적벽체	288.0	7.53	1,950	0.0039		48.0	240.0	0.307	0.78	● 97.7kN씩			
	(2)**	FB-0	순수프레임					110.0							양쪽 기둥에 각각 125.0kN	
		IFB-1	조적벽체	160.1	17.95	1,100	0.0163		77.1	83.0	0.098	0.85				
		IFBC-1	cut off	190.7	24.00		0.0218		76.5	114.0	0.100	1.14				
		IFBC-2	띠철근	197.6	25.91		0.0236		68.7	129.0	0.100	1.29				
		IFBC-3	간격변화	218.2	30.28		0.0275		65.1	153.0	0.100	1.53				
	(3)	FB-0	순수프레임			1,100		127.0								● 양쪽 기둥에 각각 125.0kN
		IFB-1	조적벽체	160.1	17.93		0.0160		107.5	53.0	0.098	0.54				
		IFBC-1	cut off	190.7	23.63		0.0215		117.2	74.0	0.100	0.74				
		IFWB-1	프레임 후타설	283.9	25.77		0.0234		117.2	167.0	0.098	1.70				
		IFWB-2		266.4	21.86		0.0199		121.8	145.0	0.098	1.48				
	(4)	IFWB-3		242.0	17.96		0.0163		108.0	134.0	0.098	1.37				
		FB-0	순수프레임				<127.0>									
	유개구 조적 벽체	(4)	IFBM-1	와이어	175.2	27.46	1,100	0.0250		125.1	50.0	0.098	0.51			push over
			IFBM-2	메쉬 보강	180.2	31.75		0.0289		127.0	53.0	0.098	0.54			
(5)		CASE-1	순수프레임					41.5						● 양쪽 기둥에 각각 96.0kN		
		CASE-2	조적벽체	117.8	1.81	1,010	0.0018		23.5	94.0	0.093	1.01				
		CASE-3	개구부의 위치변화	89.9	1.27	×	-		19.9	70.0	0.065	1.08				
		CASE-4		68.9	8.50	×	-		37.5	31.0	0.065	0.48				
		CASE-5		95.9	5.02	×	-		32.8	63.0	0.065	0.97				
		CASE-6		101.3	13.22	1,010	0.0131		40.6	61.0	0.065	0.93				
		CASE-7		69.9	7.60	1,010	0.0075		36.4	34.0	0.065	0.52				
		CASE-8		69.5	2.18	1,010	0.0022		24.4	45.0	0.060	0.75	□			
(6)		CASE-9	개구부의	52.9	10.22	1,010	0.0101		38.4	15.0	0.031	0.48	□			
		CASE-10	위치변화	53.1	8.94	×	-		37.9	15.0	0.093	0.16				
		CASE-11		40.4	18.66	×	-		39.5	1.0	0.093	0.01				
(7)		FB-0	순수프레임					<127.0>						□ 양쪽 기둥에 각각 125.0kN	cyclic	
		IFB-1	조적벽체	160.1	17.93	1,100	0.0160		107.5	53.0	0.098	<0.54>				
		IFBW-0	개구부	130.7	19.59		0.0178		108.4	22.0	0.070	0.32	□			
	IFBWR-1	주위의 보강의	145.8	21.42	0.0195			115.7	30.0	0.070	0.43					
	IFBWR-2	유무	152.1	26.90	0.0245			120.6	32.0	0.070	0.45					
	IFBWR-3	및 보강방법	167.8	31.87	0.0290			127.0	41.0	0.070	0.58					
	IFBWR-4		185.8	32.60	0.0296			127.0	59.0	0.070	0.84					

*1 프레임 면내 끼움조적벽체의 최대전단내력

*2 프레임 면내 끼움조적벽체의 최대내력 시의 변위

*3 기둥 순높이

*4 RC 프레임만의 최대전단내력

*5 Δ 시 RC 프레임만의 부담전단력

*6 끼움조적벽체만의 부담전단력 (= $BIW V_{max} - RC V_{\Delta}$)

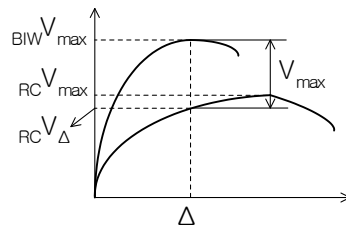
*7 V_{max} / 벽단면적

× : CASE-1과 기둥 순높이가 다름

●, □ : 항복 시의 전단응력도를 결정할 때 참고한 값 (● : 개구부 없음, □ : 개구부 있음)

< > : 다른 문헌과 중복

** : 참고문헌 (3), (4), (7)과 동일한 실험체이나 $RC V_{max}$ 값이 일치하지 않아 참고하지 않았음



- (1) 김석균, 김정한, 김영문 (1999), “메움벽에 의한 R/C프레임의 내진성능 평가에 관한 연구,” 대한건축학회 학술발표대회.
- (2) 신종학, 하기주, 최민권, 전하석 (1999), “철근콘크리트 프레임면내 조적벽체의 내진성능 평가 및 개선,” 한국콘크리트학회 추계학술발표대회논문집.
- (3) 신종학, 하기주, 김광연, 이희중, 남왕교 (2001), “반복하중을 받는 철근콘크리트 프레임면내 조적벽체의 프레임구속에 따른 구조성능 평가 및 개선,” 한국콘크리트학회 봄학술발표대회논문집 13권 1호, pp.541.
- (4) 신종학, 하기주, 최민권, 권중배, 남왕교 (2001), “철근콘크리트 프레임면내 조적벽체의 내진성능개선 기술 개발,” 한국콘크리트학회 가을학술발표대회논문집 13권 2호, pp.1143.
- (5) 신종학, 김현산 (1989), “프레임면내 조적 메움벽의 내력 및 효율성에 관한 실험적 연구,” 대한건축학회 논문집 5권 1호.
- (6) 신종학, 김현산 (1989), “프레임면내 조적 메움벽의 내력 및 효율성에 관한 실험적 연구(II),” 대한건축학회 논문집 5권 6호.
- (7) 신종학, 하기주, 김광연, 권중배, 전재호 (2001), “개구부를 갖는 철근콘크리트 프레임면내 조적벽체의 내진성능 평가 및 개선,” 대한건축학회 춘계학술발표대회 21권 1호, pp.163.

4. 요구성능 판정지표 및 평가용 지표산정

평가용 지진가속도(α)에 따라 요구성능판정지표(E_{di}) 및 내진성능 예비평가용 지표(β , G , P)를 표 III.6에 의해서 산정한다.

<표 III.6> 평가용 지진가속도(α)에 따른 요구성능 판정지표(E_{di}) 및 내진성능 평가용 지표(β , G , P) 계산식

지진규모 지표값	$0.1g \leq \alpha \leq 0.2g$	$0.2g < \alpha \leq 0.3g$			
E_{di} ($i = 1 \sim 4$)	$E_{d1} = E_{d2} = E_{d3} = E_{d4}$	경미/무피해 판정용(E_{d1})	소규모 피해 판정용(E_{d2})	중규모 피해 판정용(E_{d3}, E_{d4})	대규모 피해 판정용
	$2\alpha + 0.05$	$1.1\alpha + 0.23$	$2\alpha + 0.05$	$1.5\alpha + 0.15(E_{d3})$ $2\alpha + 0.05(E_{d4})$	-
β	$2.1 - 6\alpha$	$1.42 - 2.6\alpha$			
G	$2.2\alpha + 0.06$	$\alpha + 0.3$			
P	0.15	$0.31 - 0.8\alpha$			

5. 건물의 지진피해도 및 내진성능 평가점수 산정

가. 경미한 피해 판정 및 내진성능 점수 계산

(1) 경미한 피해용 요구성능 계산 (식 3.3)

$$E_{p1} = (0.77C_{su} + 0.3C_{fy}) \times 0.78 \quad (3.3)$$

(2) 경미한 피해 판정

① $E_{d1} \leq E_{p1} \Rightarrow$ 본 건물은 「경미한 피해」로 최종판정: ③에서 내진성능 평가점수 계산

② $E_{d1} > E_{p1} \Rightarrow$ 제Ⅲ.5.나절의 소규모 피해 판정 및 내진성능 평가점수 계산으로 이동

③ 내진성능 평가점수 : $\frac{E_{p1}}{E_{d1}} \times 100 = (\quad)$ 점 (3.4)

나. 소규모 피해 판정 및 내진성능 점수 계산

(1) 소규모 피해 요구성능 계산 (식 3.5)

$$E_{p2} = \sqrt{\{(C_{su} - E_{d2}) \times 0.75\}^2 + \{0.9C_{fy} \times 0.8\}^2} \quad (3.5)$$

(2) 소규모 피해 판정

① $E_{d2} \leq E_{p2} \Rightarrow$ 본 건물은 「소규모 피해」로 최종판정: ③에서 내진성능 평가점수 계산

② $E_{d2} > E_{p2} \Rightarrow$ 제Ⅲ.5.다절 중·대규모 피해 판정 및 내진성능 평가점수 계산으로 이동

$$\textcircled{3} \text{ 내진성능 평가점수} : \frac{E_{p2}}{E_{d2}} \times 100 = (\quad) \text{점} \quad (3.6)$$

다. 중·대규모 피해 판정 및 내진성능 점수 계산

(1) 중규모 피해 요구성능 계산 (식 3.7 및 식 3.8)

$$E_{p3} = (0.83C_{su} + 0.5C_{fy}) \times 0.8 \quad (3.7)$$

$$E_{p4} = \sqrt{\{(C_{su} - E_{d4}/2)\}^2 + \{C_{fy} \times 1.27\}^2} \quad (3.8)$$

(2) 중규모 및 대규모 피해 판정

① $E_{d3} > E_{p3}$ 및 $E_{d4} > E_{p4}$: 하나만 만족하거나 둘 다 만족하지 않을 경우 \Rightarrow 본 건물은 「중규모 피해」로 최종 판정: ③에서 내진성능 평가점수 계산

② $E_{d3} > E_{p3}$ 및 $E_{d4} > E_{p4}$: 둘 다 만족하는 경우 \Rightarrow 본 건물은 「대규모 피해」로 최종 판정: 제Ⅲ.5.라절 대규모 피해용 내진성능 점수 계산으로 이동

③ 내진성능 평가점수 계산

$$C_{su} < G \text{ 이면} : \frac{E_{p4}}{E_{d4}} \times 100 (1 - \sqrt{\beta C_{su}}) + 100 \sqrt{\beta C_{su}} = (\quad) \text{점} \quad (3.9)$$

$$C_{su} \geq G \text{ 이면 : } \frac{E_{p3}}{E_{d3}} \times 100 \left(1 + \frac{C_{su} - G}{P} \right) - \frac{C_{su} - G}{P} \times 100 = (\quad) \text{점} \quad (3.10)$$

라. 대규모 피해용 내진성능 점수 계산

① 내진성능 평가점수 계산

$$C_{su} < G \text{ 이면 : } \frac{E_{p4}}{E_{d4}} \times 100 = (\quad) \text{점} \quad (3.11)$$

$$C_{su} \geq G \text{ 이면 : } \frac{E_{p3}}{E_{d3}} \times 100 + \frac{200(E_{p3} - E_{d3})}{3E_{d3}} = (\quad) \text{점} \quad (3.12)$$

6. 내진성능 등급 결정

제Ⅲ.5절에서 평가한 학교 건물의 지진 피해도와 내진성능 평가점수에 의해서 내진성능 등급을 표 Ⅱ.9와 같이 결정하며, 최종적으로 표 Ⅱ.11과 같이 내진성능을 판정한다.

IV. 내진성능 상세평가

1. 일반사항

내진성능 상세평가는 원칙적으로 보의 강도는 충분히 강하다고 가정을 하여 건물이 가지는 보유성능 (극한강도와 극한변형을 이용한 비선형 이력거동)을 간략하게 계산하여, 그 결과를 비선형요구내력스펙트럼을 이용하여 제Ⅱ.2절에 나타낸 평가용 최대 지진가속도 수준까지 순차적으로 지진손상도를 추정 (잔존 내진성능)하여 내진성능을 평가한다.

보유성능은 수직부재의 배근상세 등을 이용하여 계산되는 부재의 극한강도 및 극한연성률(연성지표)에 근거하여 계산을 하며, 상세평가에서는 극단주 등의 국부적인 파괴부재, 휨파괴형 부재 및 전단파괴형 부재의 영향이 고려된다. 또한, 본 지침에 의한 내진성능 상세평가에서는 평가 학교건물 전체 층의 X방향 및 Y방향에 대해서 각각 독립적으로 수행하는 것을 원칙으로 한다.

[해설]

내진성능 상세평가에 관한 이론적 연구자료는 참고문헌[5][9]에 나타난 내진성능 상세평가의 연구자료에 상세하게 기술한다.

2. 평가용 지진가속도 산정

내진성능 상세평가를 위한 입력 지진가속도(a)는 식(2.1) 및 식(2.2)에 의해서 산정을 하며, 표 II.3을 이용하여 재현주기별 평가용 최대 지진가속도를 선택 가능하다.

3. 보유성능의 계산

내진성능 상세평가에서는 대상으로 하는 층의 개개의 수직부재의 파괴형식 (표 IV.1), 극한내력 시 전단력 (강도지표, C) (제IV.3.가절)을 계산하고, 제IV.3.나절에 나타난 방법에 의해 대상으로 하는 층의 개개의 수직부재의 극한 연성률 (연성지표, F)를 계산한다.

다음으로, 그 파괴형식 및 연성지표의 값이 비슷한 것을 최대한 정리하여, 전 수직부재를 최대 3개의 수직부재 그룹으로 하여 연성지표가 작은 순으로 제1그룹, 제2그룹, 제3그룹으로 한다. 이들 수직부재 그룹의 강도지표(C)와 연성지표(F)를 조합하여 식(4.1) 및 식(4.2)에 나타내는 방법으로 보유성능(E_o)을 산정한다.

(1) 극취성기둥이 없는 경우

식(4.1)과 식(4.2) 중 큰 값을 취한다.

$$E_o = \frac{n+1}{n+i} \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + E_3^2} \quad (4.1)$$

$$E_o = \frac{n+1}{n+i} (C_1 + \alpha_2 C_2 + \alpha_3 C_3) \times F_1 \quad (4.2)$$

여기서, n : 건물층수, i : 대상층의 층수(1층을 1로, 최상층을 n층으로 함)

E_1 : $C_1 \times F_1$

E_2 : $C_2 \times F_2$

E_3 : $C_3 \times F_3$

C_1 : 제1그룹 (F 지표가 가장 작은 그룹)의 C지표

C_2 : 제2그룹 (F 지표가 중간인 그룹)의 C지표

C_3 : 제3그룹 (F 지표가 가장 큰 그룹)의 C지표

F_1 : 제1그룹의 F 지표

F_2 : 제2그룹의 F 지표

F_3 : 제3그룹의 F 지표

α_2 : (제1그룹 종국강도 변형 시 제2그룹 강도의 합) / (제2그룹 종국강도의 합)

α_3 : (제1그룹 종국강도 변형 시 제3그룹 강도의 합) / (제3그룹 종국강도의 합)

α_2, α_3 는 표 IV.2에 의해 결정할 수 있다.

(2) 극취성기둥이 있는 경우

극취성기둥이 있는 경우, 보유성능(E_o)는 극취성기둥을 무시하여 식(4.1) 및 식(4.2)에 의해 구한 값과, 극취성기둥을 고려하여 식(4.2)으로 구한 값 중 가장 큰 값

을 취한다. 극취성기등을 무시하는 경우에는 연성지표(F)가 두 번째로 작은 연직부재 그룹을 제1그룹으로 하고 순차적으로 그룹 번호를 올린다.

<표 IV.1> 내진성능 상세평가용 수직부재의 파괴형식에 의한 분류

명 칭	정의
휨기등	휨항복이 전단파괴보다 선행하는 기등
휨벽체	휨항복이 전단파괴보다 선행하는 벽
전단기등	전단파괴가 휨항복보다 선행하는 기등, 단, 극취성기등은 제외
전단벽체	전단파괴가 휨항복보다 선행하는 벽
끼움조적벽체	기등, 보 프레임 내에 벽돌 및 블록을 충전한 벽체
극취성기등	h_o/D 가 2이하(극단주)이고, 전단파괴가 휨항복보다 선행하는 기등

<표 IV.2> α_2 및 α_3 의 값

식 (4.2)의 α_2 의 값			식 (4.2)의 α_3 의 값		
제1그룹 제2그룹	극취성 기등	전단기등 전단벽 끼움조적벽체	제1그룹 제3그룹	극취성 기등	전단기등 전단벽 끼움조적벽체
휨기등	0.5	0.7	휨기등	0.5	0.7
휨벽	0.7	1.0	휨벽	0.7	1.0
전단기등 전단벽 끼움조적벽체	0.7	-	전단기등 전단벽 끼움조적벽체	0.7	-

[해설]

보유성능의 개념 및 계산방법은 일본 내진진단기준⁽⁴⁾을 참조하였다.

가. 강도지표의 계산

(1) 기본사항

내진성능 상세평가에서는 원칙적으로 보는 충분히 강하다고 가정하여, 수직부재의 수평력에 대한 극한강도로부터 강도지표 C 를 산정한다. 각 수직부재의 전단극한강도 Q_{su} 및 휨극한 시의 전단력 Q_{Mu} 를 구하여, 양자를 비교하여 파괴형식을 분류한다 (표 IV.1).

(2) 부재의 극한강도의 계산

전단극한강도 Q_{su} 및 휨극한강도 M_u 의 계산에는 기존 연구된 적합성이 좋은 식을 사용하는 것으로 한다(문헌[3][4][15][16][17] 참조). 이 중, 특히 Q_{su} 에 대해서는 하한에 가까운 값이 얻어지는 식을 이용하는 것으로 하나, 특별한 검토를 하지 않을 때에는 Q_{su} 와 M_u 는 참고문헌[4]에 나타내는 부재 극한강도 계산식을 사용해도 된다.

콘크리트 강도 및 강재의 항복점 강도는 설계기준강도를 사용한다. 단, 예비조사에 의해 현저히 노후화가 관찰되는 경우 혹은 정밀조사에 의해 재료강도에 관한 자료가 얻어진 경우에는 실제의 값을 사용한다.

(3) 파괴형식 및 종국시의 전단력의 계산

제IV.3.가(2)절에서 계산한 휨강도 및 전단강도를 이용하여 수직부재의 파괴형식 및 그때의 보유전단력 Q_u 를 다음과 같이 구한다.

① 기둥의 경우

휨종국강도 시 전단력 ${}_cQ_{Mu}$ 를 식(4.3)에 의해 계산하고, 이것과 전단종국강도 ${}_cQ_{su}$ 를 비교하여, 파괴형식과 종국보유전단력 ${}_cQ_u$ 를 구한다.

${}_cQ_{Mu} < {}_cQ_{su}$ 인 경우 : 휨기둥 (${}_cQ_u = {}_cQ_{Mu}$)

${}_cQ_{Mu} \geq {}_cQ_{su}$ 인 경우 : 전단기둥 (${}_cQ_u = {}_cQ_{su}$)

$${}_cQ_{Mu} = \frac{({}_cM_u)_{\text{상}} + ({}_sM_u)_{\text{하}}}{h_o} \quad (4.3)$$

여기서, $({}_cM_u)_{\text{상}}$: 주두의 휨종국강도

$({}_sM_u)_{\text{하}}$: 주각의 휨종국강도

h_o : 기둥의 내치수 (그림 III.1 참조)

다만, 전단기둥 중, $h_o/D \leq 2$ 인 기둥을 극취성기둥으로 취급한다.

② 벽의 경우

휨종국강도 시 전단력 ${}_wQ_{Mu}$ 를 식 (4.4)에 의해서 계산하고, 이것과 전단종국강도 ${}_wQ_{su}$ 를 비교하여 파괴형식과 종국보유전단력 ${}_wQ_u$ 를 구한다.

${}_wQ_{Mu} < {}_wQ_{su}$ 인 경우 : 휨벽 (${}_wQ_u = {}_wQ_{Mu}$)

${}_wQ_{Mu} \geq {}_wQ_{su}$ 인 경우 : 전단벽 (${}_wQ_u = {}_wQ_{su}$)

$${}_wQ_{Mu} = 2{}_wM_u/h_w \quad (4.4)$$

다만, 여러층에 연속된 벽 (1층 벽을 포함)의 최상층의 경우에는 우변의 계수 2를 1로 한다. 여기서, ${}_wM_u$ 는 고려하는 층의 벽 휨종국강도이고, h_w 는 고려하고 있는

층의 바닥에서부터 그 벽의 최상부까지의 높이이다.

③ 끼움조적조

기둥, 보 프레임 내에 벽돌 또는 블록을 충전한 벽체를 끼움조적조 벽체로 정의를 하며, 파괴형식은 대국적으로 전단에 의해서 지배되는 것으로 가정한다. 끼움조적조 벽체의 극한 전단강도 mQ_{su} 는 참고문헌[16][17]에 연구된 적합성이 좋은 식을 사용하는 것으로 하나, 특별한 검토를 수행하지 않을 경우에는 제Ⅲ.3.나절의 표 Ⅲ.5에 나타낸 끼움조적 벽체의 평균전단응력도를 이용하여 극한 전단강도를 추정해도 좋다.

(4) 연직부재의 그룹핑

파괴형식에 따라 구해지는 연성지표(F) (제Ⅳ.3.나절 참조)의 크기에 따라 수직부재를 최대 3종류로 분류하고 F지표가 작은 순으로 제1, 제2, 제3그룹이라 한다. 이때 다음 사항에 주의한다.

- F치가 근사한 것은 될 수 있는 대로 동일그룹으로 넣고, E_o 가 크게 되도록 그룹의 수를 3이하로 한다. 이 경우 그룹의 F지표는 그룹 부재중 가장 작은 F값을 사용한다.
- 극취성기둥은 독립시켜 그룹핑한다.

(5) 강도지표의 산출

각 그룹의 강도지표 C_i 는 식(4.5)에 의해서 계산한다.

$$C_i = (i \text{ 그룹에 속한 수직부재의 극한보유 전단력의 합}) / \sum W \quad (4.5)$$

여기서, $\sum W$ 는 그 층보다 위의 건물 전 중량으로, 건물자중에 지진용 적재하중을 합한 것으로서, 중량(W)을 계산을 하지 않은 경우에는 바닥면적당 단위중량

w=10 kPa (1,000 kgf/m²)을 사용하여 건물 전 중량을 계산해도 좋다.

[해설]

강도지표는 일본 내진진단기준⁽⁴⁾을 참조하였다.

나. 연성지표의 계산

내진성능 상세평가의 연성지표는 표 IV.1의 분류에 근거하여 표 IV.3에 나타내는 값을 사용한다. 다만, 연성능력이 있는 휨항복이 선행하는 휨기둥 및 휨벽체에 대해서는 식(4.6) 및 식(4.7)에 의해서 계산을 하며, 날개벽을 가지는 기둥은 특별한 검토를 하지 않으면, F=1.0로 할 수가 있다. 또한, 기움조적조 벽체는 특별한 검토를 하지 않으면, F=1.0으로 가정한다.

① 휨기둥

$$F = \phi \sqrt{2\mu - 1} \quad (4.6)$$

여기서 μ : 휨기둥의 종국연성율

$$\phi : \frac{1}{0.75(1 + 0.05\mu)}$$

식(4.6)의 휨기둥의 종국연성율(μ)은 식(4.7)에 의해 계산한다. 다만, 다음에 기술하는 어느 한 조건에 해당하는 경우에는 μ 의 값에 관계없이 연성지표 F를 1.0으로 한다.

$$\mu = \mu_o - k_1 - k_2 \quad [1 \leq \mu \leq 5] \quad (4.7)$$

여기서, $\mu_o = 10 \left(\frac{{}_c Q_{su}}{{}_c Q_{Mu}} - 1 \right)$

$k_1 = 2.0$ (다만, 띠철근간격이 주근지름의 8배 이하인 경우는 0로 해도 좋다)

$$k_2 = 30 \left(\frac{{}_c \tau_{Mu}}{f_{ck}} - 0.1 \right) \geq 0$$

${}_c Q_{su}$: 기둥의 종국 전단 강도

${}_c Q_M$: 기둥의 휨종국 강도시 전단력

${}_c \tau_{Mu} = Q_{Mu} / (b \cdot j)$ b : 기둥폭

j : 기둥의 응력중심간 거리 (0.8D로 해도 좋다)

f_{ck} : 콘크리트 압축강도

연성지표 F를 1.0으로 하는 조건은 다음과 같다.

$N_s / (b D f_{ck}) > 0.4$ (N_s 는 지진 시 축방향력)

${}_c \tau_{Mu} / f_{ck} > 0.2$

$P_t > 1\%$ (P_t 는 인장철근비)

$h_o / D \leq 2.0$ (h_o 는 기둥 내치수 높이)

② 휨벽

$$\frac{{}_w Q_{su}}{{}_w Q_{Mu}} \leq 1.2 \text{ 의 경우 : } F=1.0 \quad (4.8)$$

중간은 직선보간

$$\frac{{}_w Q_{su}}{{}_w Q_{Mu}} \geq 1.3 \text{ 의 경우 : } F=2.0 \quad (4.9)$$

여기서, ${}_wQ_{su}$ 는 벽의 종국 전단강도
 ${}_wQ_{Mu}$ 는 벽의 휨종국 강도시 전단력

<표 IV.3> 상세평가용 연성지표 F

수직부재	인성지표 F	참조
휨기둥	1.27~3.2*	식(4.6)
휨벽	1.0~2.0	식(4.9) 및 식(4.9)
전단기둥	1.0	-
전단벽	1.0	-
끼움조적 벽체	1.0	-
극취성기둥	0.8	-
주* 경우에 따라 1.0이 되는 경우가 있다.		

[해설]
 연성지표는 일본 내진진단기준⁽⁴⁾을 참조하였다.

4. 연성율별 지진가속도 수준의 산정

제Ⅳ.3.가절의 식(4.5)에 의해서 계산한 극한강도지표를 제Ⅳ.3.나절의 연성지표 별로 표 Ⅳ.4와 같이 전단 (C_{su}) 및 휨파괴형(C_{fy}) 부재의 극한강도로 분류한다. 전단파괴형 부재의 극한강도(C_{su}), 휨파괴형 부재의 극한강도(C_{su}), 연성율 (μ_f) 및 지진가속도(α)의 역학적 관계를 비선형 요구내력스펙트럼 결과에 근거하여 수식화한 식(4.10)를 바탕으로 특정 연성율 ($\mu_f=0.3$, $\mu_f=0.6$, $\mu_f=1$, $\mu_f=2$ 및 $\mu_f=4$)별 지진가속도 수준을 계산한다.

$$\mu_{f=0.3} : 0.3 = \frac{0.08}{1.03} \alpha^{-0.97} [C_{fy} + 1.9\alpha(\alpha - 0.005)^{-0.7} C_{su}] \quad (4.10a)$$

$$\mu_{f=0.6} : 0.6 = \frac{0.24}{1.1} \alpha^{-0.99} [C_{fy} + 1.54\alpha(\alpha - 0.017)^{-0.6} C_{su}] \quad (4.10b)$$

$$\mu_{f=1.0} : 1.0 = \frac{0.65}{1.1} \alpha^{-0.9} [C_{fy} + 1.02\alpha(\alpha - 0.007)^{-0.58} C_{su} + 0.008\alpha(\alpha + 0.003)^{-3} C_{su}^2] \quad (4.10c)$$

$$\mu_{f=2.0} : 2.0 = \frac{1.7}{1.1} \alpha^{-1.12} [C_{fy} + 0.7\alpha^2(\alpha - 0.007)^{-0.96} C_{su} + 0.12\alpha(\alpha - 0.011)^{-1.7} C_{su}^2] \quad (4.10d)$$

$$\mu_{f=4.0} : 4.0 = \frac{4.1}{1.1} \alpha^{-1.23} [C_{fy} + 0.018\alpha^2(\alpha - 0.001)^{-1.1} C_{su} + 0.4\alpha(\alpha - 0.017)^{-1.16} C_{su}^2] \quad (4.10e)$$

<표 Ⅳ.4> 전단 (C_{su}) 및 휨파괴형(C_{fy}) 부재의 종국강도 분류

종국강도 분류	종국강도 값
전단파괴형 부재의 종국강도 (C_{su})	C_{su} = 연성지표 F 가 1이하인 경우의 강도지표의 합 ΣC
휨파괴형부재의 종국강도 (C_{fy})	C_{fy} =연성지표 F 가 1을 초과한 경우의 강도지표의 합 ΣC

5. 연성율별 내진성능저감계수를 고려한 잔존내진성능 산정

제Ⅳ.4절에서 계산한 특정 연성율 단계, 즉 $\mu_f=0.3$, $\mu_f=0.6$, $\mu_f=1$, $\mu_f=2$ 및 $\mu_f=4$ 단계의 잔존 내진성능(R)을 표 Ⅳ.5 및 식(4.11)을 이용하여 계산한다. 본 지침에서는 잔존내진성능을 식(4.11)에 나타낸 지진피해 전·후의 보유성능(E_o 및 ${}_dE_o$)의 비율 (내진성능 잔존율, RSC)로 정의를 한다. 식(4.11)의 η 는 내진성능 저감계수를 나타내며, 전단 및 휨파괴형 부재의 손상정도를 지진에너지 흡수능력을 이용하여 제안된 계수이다 (표 Ⅳ.6 참조).

$$RSC = \frac{{}_dE_o (= \eta E_o)}{E_o} \times 100(\%) \quad (4.11)$$

여기서, E_o : 지진피해 전의 보유성능 (제Ⅳ.3절 참조)

${}_dE_o$: 지진피해 후의 보유성능 ($=\eta \cdot E_o$)

η : 내진성능 저감계수 (표 Ⅳ.6 참조)

<표 Ⅳ.5> 연성율별 내진성능저감계수를 고려한 잔존내진성능의 계산법

특정 연성 율	연성율별 지진가속 도 수준 (제Ⅳ.4절)	보유 성능 (제Ⅳ.3절)	전단 및 휨파괴형 부재의 손상도 (표 Ⅳ.6)		내진성능 저감계수 (η)		지진피 해 후의 보유성 능	잔존 내진성 능
μ_f	$\alpha(g)$	E_o	Shear	Flexural	Shear	Flexural	${}_dE_o$	RSC (%)
0.3	○	○	Ⅲ	I	0.3	0.95	○	○
0.6	○		Ⅳ	I	0	0.95	○	○
1	○		Ⅳ	Ⅱ	0	0.75	○	○
2	○		Ⅳ	Ⅲ	0	0.5	○	○
4	○		Ⅳ	Ⅳ	0	0.1	○	○

○: 계산 값

<표 IV.6> 부재의 내진성능 저감계수(η)

지진손상도	전단파괴형 기둥	휨파괴형 기둥	전단벽
I	0.95	0.95	0.95
II	0.6	0.75	0.6
III	0.3	0.5	0.3
IV	0	0.1	0
V	0	0	0

주) 내진성능 저감계수는 부재의 실험연구를 바탕으로 유도한 것으로서, 부재의 내력-변형관계곡선을 이상화하여 부재가 소산한 지진에너지와 잔존에너지 흡수능력을 이용하여 설정한 계수임.

[해설]

내진성능저감계수는 지진피해를 받은 건축물의 지진피해도 구분판정기준[11][12]를 참조하였다.

6. 건물의 지진피해도 및 내진성능 등급 결정

제IV.5절에서 계산한 잔존 내진성능(RSC)에 의해서 지진피해도 및 내진성능 등급을 표 II.10과 같이 결정하며, 최종적으로 표 II.11과 같이 내진성능을 판정한다.

V. 내진보강 기본계획

1. 일반사항

내진보강 기본계획에서는 내진보강의 흐름, 내진보강 설계의 흐름, 내진보강 공법의 선택개념, 필요 보강량 산정방법 및 내진보강 효과의 확인절차를 기술한다. 다만, 특별한 연구결과를 바탕으로 내진보강 기본계획을 수행 할 경우에는 본 지침을 적용하지 않아도 된다. 또한, 내진보강 실시설계 및 시공에 관한 사항은 대한건축학회 및 한국콘크리트 학회의 콘크리트 구조 설계기준, 건축공사 표준시방서 등의 관련 법/기준 및 지침에 의한다.

2. 내진보강 기본계획

가. 내진보강 및 설계의 흐름

내진보강은 일반적으로 그림 V.1처럼 내진성능 평가, 보강설계, 보강공사 시공의 순서로 구성되어 있으며, 보강설계는 보강계획, 기본설계, 상세설계, 보강효과의 확

인의 순서를 권장하며, 보강 건물의 내진성능이 목표값 (목표 내진성능)을 만족하지 못하면 보강설계의 순서를 반복한다(그림 V.2).

① 보강계획

제 V.2.다절에 의한 목표 내진성능을 만족하기 위한 보강목표를 설정하여, 내진보강에 의해서 학교건물에 어느 정도의 강도 내지는 연성을 부여 해야 하는가 등의 기본방침을 결정한다. 또한, 보강목표에 가장 최적의 보강공법을 선정한다.

② 기본설계

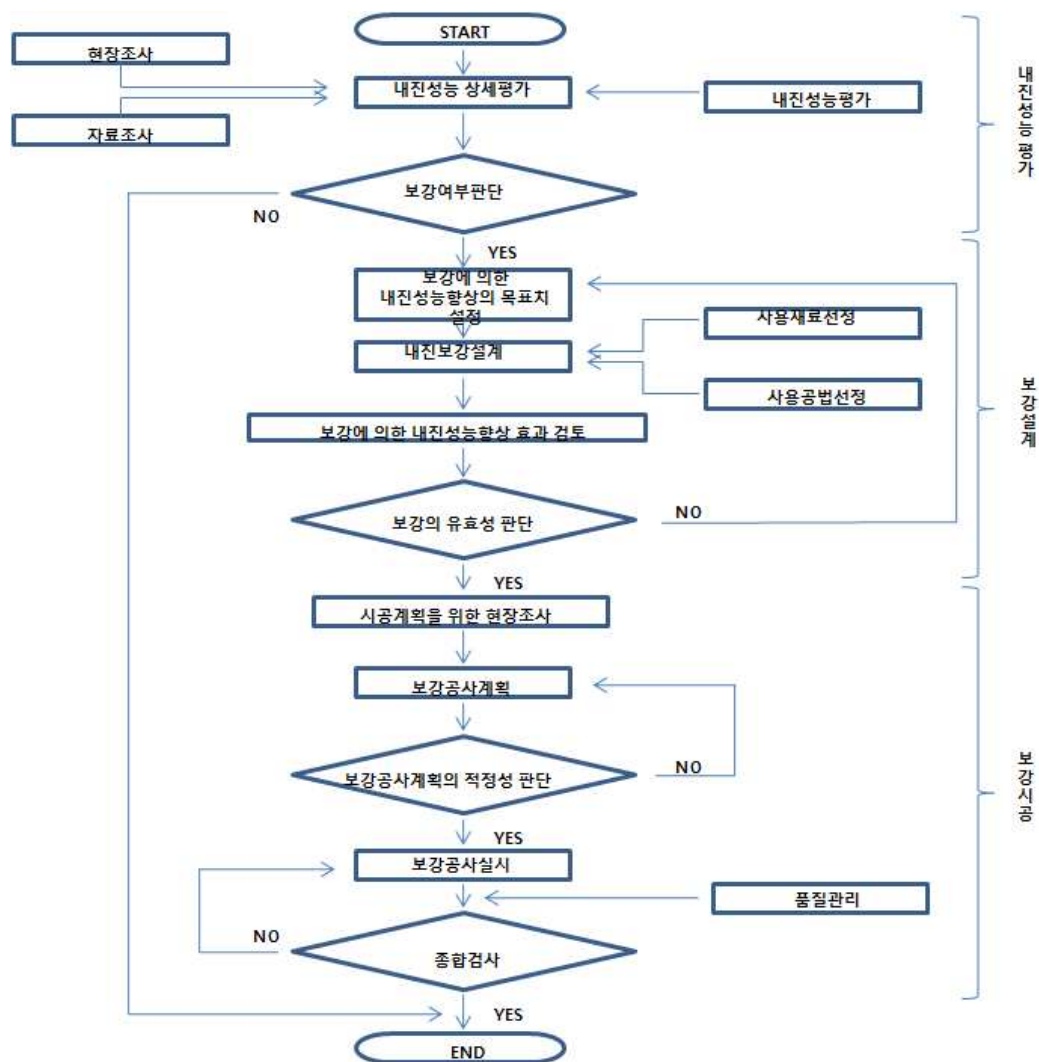
필요 보강량(보강부재 단면 및 그 수량)의 약산 및 보강부재의 배치를 수행한다.

③ 상세설계

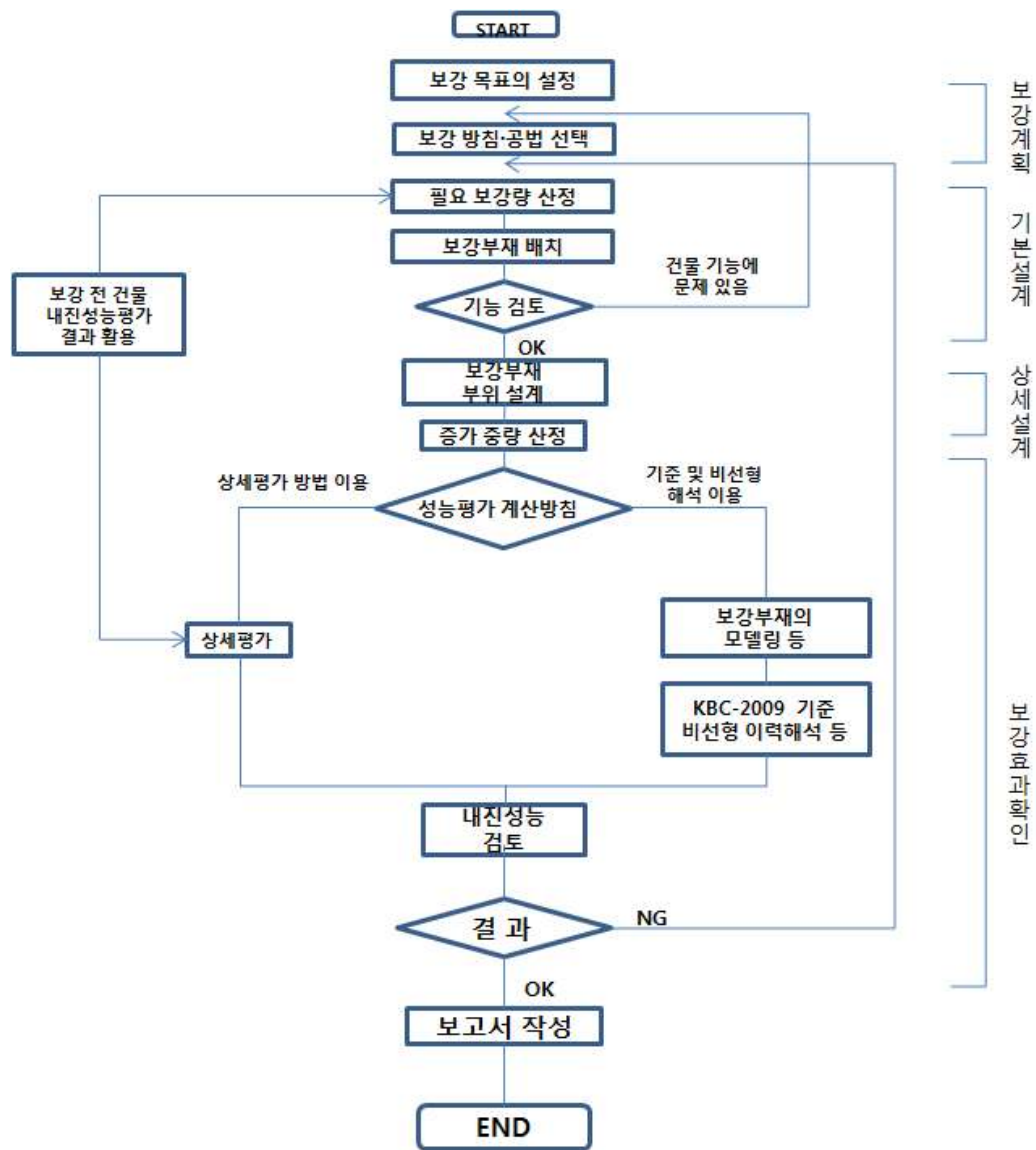
배치 계획된 보강부재, 기존골조와의 접합부 등의 상세를 설계함과 동시에, 보강부재의 극한강도지표 및 연성지표를 계산한다.

④ 보강효과의 확인

내진보강효과의 확인에는 본 지침의 내진성능 상세평가 방법을 기본적으로 활용할 것을 권장하지만, KBC-2009⁽²⁾ 등 관련 설계기준 및 비선형해석 등을 이용하여 확인을 하여도 된다. 다만, 제진브레이스 등 건물 강도뿐만 아니라 지진에너지 흡수능력에 의존하는 보강방법을 이용한 경우에는 비선형 시간이력해석을 실시하여 보강설계가 적절하게 수행되었는지를 확인해야 한다.



[그림 V.1] 내진보강의 흐름



[그림 V.2] 보강설계의 흐름

나. 내진보강 공법의 선택

내진보강에는 실험 등에 의해서 그 효과가 확인된 신뢰성이 검증된 공법을 이용한다. 또한, 기존 학교건물의 내진성능 평가 결과를 바탕으로 한 구조특성을 충분하게 파악하여, 건물의 내력(강도)향상, 연성의 향상, 에너지흡수 능력 개선 등, 보강 목표에 대응한 가장 최적의 공법을 선택한다 (표 V.1 참조).

<표 V.1> 대표적인 내진보강법

보강개념	학교 건물 보강법
강도보강	철골브레이스 접착공법, 패럴(parallel)공법, 전단벽 신설, PC 판넬, OFB 공법, 벽체 전면보강, 외부버팀벽, 슈퍼앵커 보강법 등
연성보강	SR-CF보강법, 강판보강, 섬유보강재 보강, SPAC 내진공법, SRF 내진보강법 등
제진공법	토글 제진공법, 외부접합 제진브레이스, 기타 제진브레이스 공법 등
면진공법	각종 면진구조 공법 등

다. 필요 내진보강량의 산정

입력 지진가속도(α)에 대해서 목표성능을 만족하기위한 필요 보강량(ΔQ)을 식 5.1에 의해서 산정한다. 다만, 검증된 연구결과를 바탕으로 필요 보강량을 산정 할 경우에는 본 지침을 적용하지 않아도 된다. 또한, 전단파괴 부재가 주요한 내진요소인 건물은 식(5.2)에 의해서 필요 증가내력을 계산하여도 된다.

$$\Delta Q = \left(\frac{n+i}{n+1} \right) \times \frac{1}{F} (R E_o - E_o) \times \sum W_i \quad (5.1)$$

여기서, ΔQ : i층의 필요 증가내력(강도)

n, i : 건물의 층수, 해당 층의 층수 (1층을 1로, 최상층을 n층으로 함)

F : 식 4.2에 사용된 연성지표

E_o : 보강전의 보유성능

${}_R E_o$: 보강목표 보유성능[식 (5.3)]

($=2.7\alpha - 0.02$) (그림 V.3 및 V.4 참조)

ΣW_i : i층으로 부터 상부층의 건물중량의 합

$$\Delta Q = \left(\frac{n+i}{n+1} \right) \times ({}_R E_o - E_o) \times \sum W_i \quad (5.2)$$

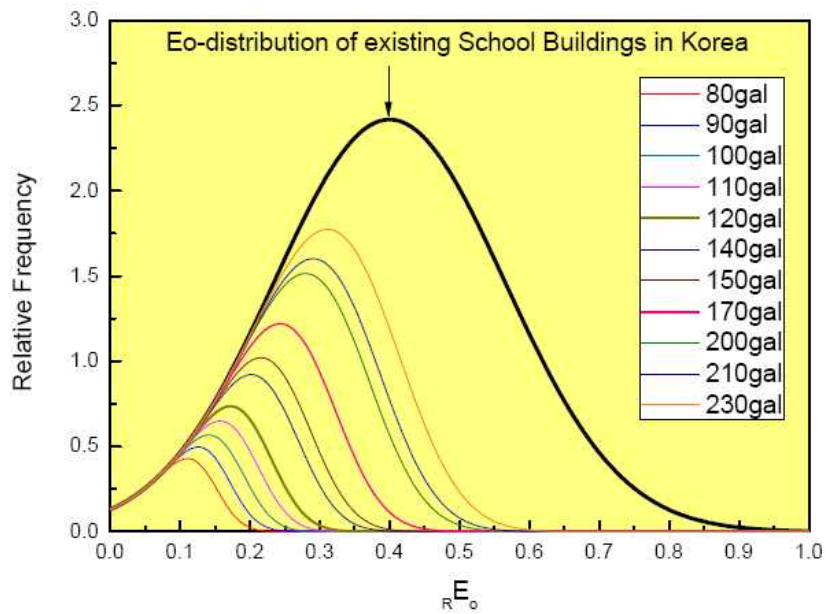
한편, 식(4.1)에 의해서 보유성능이 결정된 경우에는 식(5.1) 및 식(5.2)에 의해서 계산된 필요 증가내력이 불충분한 경우가 있기 때문에 식(4.1)을 이용해서 필요 보강량을 확인 할 필요가 있다.

필요 보강량(ΔQ) 산정을 위한 보강목표 보유성능(${}_R E_o$)는 식(5.3)에 의해서 추정한다.

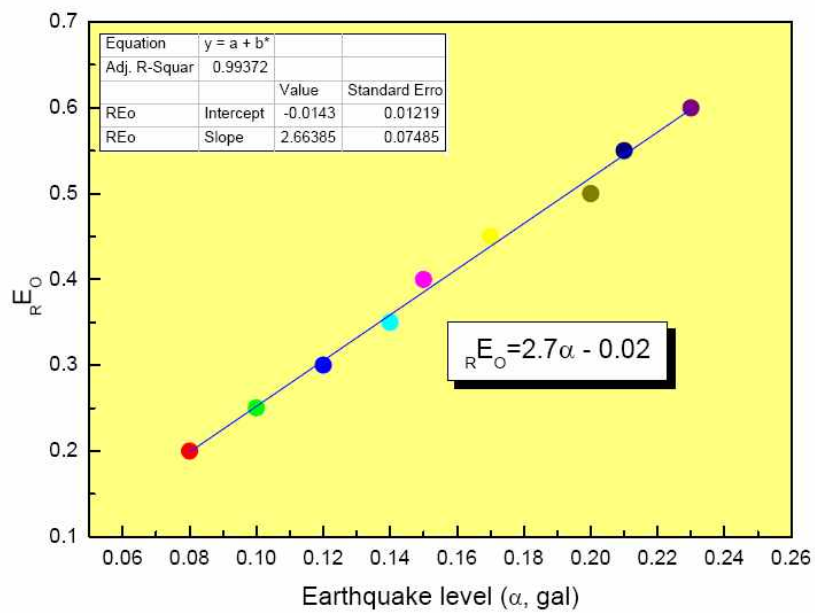
$${}_R E_o = 2.7\alpha - 0.02 \quad (5.3)$$

여기서, ${}_R E_o$: 보강목표 보유성능

α : 입력지진동 ($G=\text{gal}/980$)



[그림 V.3] 입력지진동과 보강목표의 관계



[그림 V.4] 입력지진동과 보강목표의 관계

[해설]

보강목표 보유성능(R_{Eo})을 나타내는 식 (5.3) ($R_{Eo}=2.7a-0.02$)은 참고문헌[13] 및 [14]를 참조로 그림 V.3 및 V.4와 같은 입력지진동과 보강목표의 관계를 도출하였다.

다. 내진보강 효과의 확인

내진보강효과의 확인에는 본 지침의 내진성능 상세평가 방법을 기본적으로 활용할 것을 권장하지만, KBC-2009⁽²⁾ 등 관련 설계기준 및 비선형해석 등을 이용하여 확인을 하여도 된다.

다만, 면진/제진 등 건물 강도뿐만 아니라 지진에너지 흡수능력에 의존하는 보강 방법을 이용한 경우에는 비선형 시간이력해석을 실시하여 보강설계가 적절하게 수행되었는지를 확인해야 한다.

참고문헌

1. 한국시설안전기술공단 「기존 건축물의 내진성능 평가 요령」, 건설교통부, 2010.
2. 건설교통부 고시 「건축구조설계기준 (KBC-2009)」, 대한건축학회, 2009.
3. Federal Emergency Management Agency 「FEMA-356 · Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings」, Washington. D.C., 2000.
4. (財)日本建築防災協会 「既存コンクリート造建築物の耐震診断基準・付解説」. 新洋社, 東京, 140pp, 1977(1990年, 2001年改訂).
5. 이강석, 이원호 「전단 및 휨파괴형 부재가 혼합된 저층 RC 건물의 지진응답특성」, 대한건축학회논문집 구조계, Vol. 18. No. 11, pp. 35~46, 2002.
6. 이강석 「전단 및 휨파괴형 부재가 혼합된 저층 철근콘크리트 건물의 간이 내진성능 평가법 제안」, 대한건축학회논문집 구조계, Vol. 24. No. 11, pp. 3~13, 2008.
7. Kang Seok Lee 「Seismic Capacity Requirements for Low-Rise Reinforced Concrete Buildings Controlled by both Shear and Flexure」, Journal of Advanced Concrete Technology, Vol. 8. No. 1, pp. 75~91, February 2010.
8. Kang Seok Lee et al. 「A Practical Rapid Screening Method for Evaluating the Seismic Capacity of Low-rise Reinforced Concrete BuildingsSeismic Capacity Requirements for Low-Rise Reinforced Concrete Buildings Controlled by both Shear and Flexure」, Journal of Advanced Concrete Technology, Vol. 9. No. 3, October 2011.
9. 이강석 「비선형요구내력스펙트럼을 이용한 저층 R/C 건물의 내진성능 평가법 제안」, 한국구조물진단학회 논문집, Vol. 15. No. 3, pp. 1~10, 2011.5.
10. 한국교육환경연구원 「학교시설 개축 및 내진성능 판정을 위한 가이드라인」, 교육과학기술부사단법인, 2008.11.
11. (財)日本建築防災協会 「震災建築物の被災度区分判定基準および復舊技術指針」, 三榮社, 東京, 360pp, 2001.

12. Masaki Maeda, Yoshiaki Nakano and Kang Seok Lee 「Post-Earthquake Damage Evaluation for RC Buildings Based on Residual Seismic Capacity」, 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, No. 1179, August 2004.
13. 이강석 등 「국내 철근콘크리트 건물의 내진안전성 평가에 관한 연구」, 한국콘크리트학회 가을 학술발표 논문집, 2010.
14. 이강석, 이리형 「일본의 기존 철근콘크리트 건물의 내진성능 및 지진피해율의 평가」, 한국전산구조공학회 논문집 Vol. 13. No. 1, pp. 63~74, 2000.
15. 「Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-08) and Commentary」, American Concrete Institute Committee 318, 2008.
16. T. Pauley and M.J.N. Priestley 「Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings」, John Wiley & Sons, INC. 1992.
17. Federal Emergency Management Agency 「FEMA-306 • Evaluation of Earthquake Damaged Concrete and Masonry Wall Buildings」, Washington. D.C., 1998.

표 Ⅲ.2 건축시기별 일반기둥의 평균전단응력도

단위: MPa (kgf/cm²)

기둥 분류		건설연도			
		1970년 이전	1971년 -1987년	1988년 -2000년	2001년 이후
힘 파괴	일반기둥	0.73	0.74	0.85	0.86
	(h ₀ /D ≥ 6)	(7.3)	(7.4)	(8.5)	(8.6)

<전단파괴형 부재>

- 전단파괴형 부재의 내력값 산정식: 극단주, 단주, 벽체 및 조적채움벽

$$\left(C_{su} = \frac{V_{su}}{\sum A_f \cdot w} = \frac{\tau_{sc} \sum a_{sc} + \tau_{oc} \sum a_{oc} + \tau_{sw} \sum a_{sw} + \tau_{bw} \sum a_{bw}}{\sum A_f \cdot w} \right) \quad (3.2)$$

여기서, $\sum a_{sc}$: 극단주의 단면적 합 (표 Ⅲ.3 참조) τ_{sc} : 극단주의 전단응력도 (표 Ⅲ.3 참조) $\sum a_{oc}$: 단주의 단면적 합 (표 Ⅲ.3 참조) τ_{oc} : 단주의 전단응력도 (표 Ⅲ.3 참조) $\sum a_{sw}$: 벽체의 단면적 합 (표 Ⅲ.4 참조) τ_{sw} : 벽체의 전단응력도 (표 Ⅲ.4 참조) $\sum a_{bw}$: 조적채움벽의 단면적 합 (표 Ⅲ.5 참조) τ_{bw} : 조적채움벽의 전단응력도 (표 Ⅲ.5 참조) $\sum A_f$: 대상건물 전층의 바닥면적 합 w : 바닥면적당 단위중량

표 Ⅲ.3 건축시기별 극단주 및 단주의 평균전단응력도

단위: MPa (kgf/cm²)

기둥 분류		건설연도			
		1970년 이전	1971년 -1987년	1988년 -2000년	2001년 이후
전단파괴	극단주	1.30	1.35	1.43	1.50
	(h ₀ /D ≤ 2)	(13.0)	(13.5)	(14.3)	(15.0)
	단주	1.14	1.19	1.32	1.30
	(2 < h ₀ /D ≤ 6)	(11.4)	(11.9)	(13.2)	(13.0)

표 Ⅲ.4 벽체의 평균전단응력도

단위: MPa (kgf/cm²)

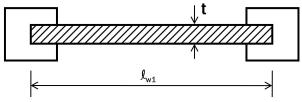
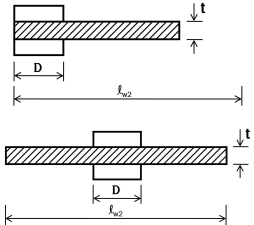
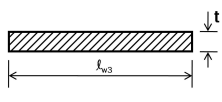
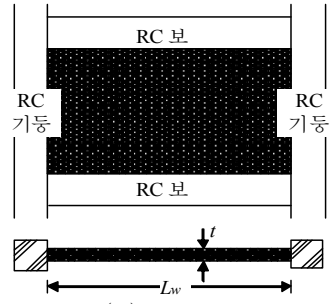
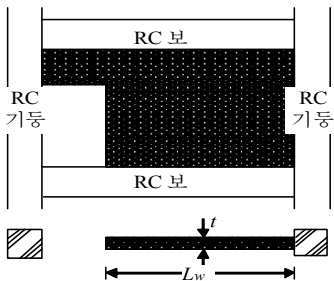
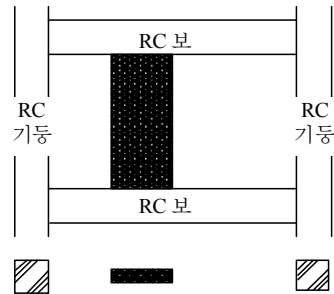
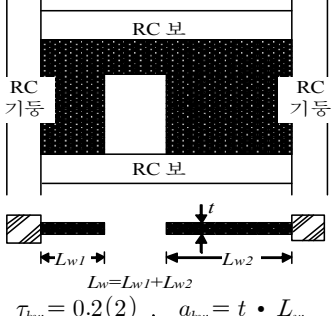
양측에 기둥이 있는 벽	한쪽에 기둥이 있는 벽	기둥이 없는 벽
		
$\tau_{sw} = 3(30), a_{sw} = t \times l_{w1}$	$\tau_{sw} = 2(20), a_{sw} = t \times l_{w2}$	$\tau_{sw} = 1(10), a_{sw} = t \times l_{w3}$

표 Ⅲ.5 끼움조적조의 평균전단응력도

단위: MPa (kgf/cm²)

종류	전단응력도 및 단면적	종류	전단응력도 및 단면적
양측에 기둥이 있는 조적채움 벽	 $\tau_{bw} = 0.6(6), a_{bw} = t \cdot L_w$	한쪽만 기둥이 있는 조적채움 벽	
기둥이 없는 조적채움 벽	 $\tau_{bw} = 0.0$		 $L_w = L_{w1} + L_{w2}$ $\tau_{bw} = 0.2(2), a_{bw} = t \cdot L_w$

4.1 장 변 방향 (X방향)의 내력 산정 (1층)

▪ 건물전층의 총중량 $\sum A_f (= \text{ } m^2) \times 1.0 \text{ tf}/m^2 (\text{바닥면적당 단위중량:} w) = (\text{ }) \text{ tf}$

▪ 횡파괴형 부재의 내력값 산정

$$\sum a_{fc}: \text{일반기둥의 단면적 합} = \text{ } cm^2$$

$$C_{fy} = \frac{\tau_{fc} \sum a_{fc}}{\sum A_f \cdot w} = \frac{[\text{ }] kgf/cm^2 \times [\text{ }] cm^2}{[\text{ }] \times 1000 kgf} = [\text{ }]$$

$$\therefore C_{fy} = (\text{ })$$

▪ 전단파괴형 부재의 내력값 산정

$$\sum a_{sc}: \text{극단주의 전체면적} = \text{ } cm^2$$

$$\sum a_{oc}: \text{단주의 전체면적} = \text{ } cm^2$$

$$\sum a_{sw}: \text{벽체의 전체면적} = \text{ } cm^2$$

$$\sum a_{sw}: \text{조적체움벽의 전체면적} = \text{ } cm^2$$

$$C_{su} = \frac{V_{su}}{\sum A_f \cdot w} = \frac{\tau_{sc} \sum a_{sc} + \tau_{oc} \sum a_{oc} + \tau_{sw} \sum a_{sw} + \tau_{bw} \sum a_{bw}}{\sum A_f \cdot w}$$

$$= \frac{\{ [\text{ }] kgf/cm^2 \times [\text{ }] cm^2 \} + \{ [\text{ }] kgf/cm^2 \times [\text{ }] cm^2 \} + \{ [\text{ }] kgf/cm^2 \times [\text{ }] cm^2 \} + \{ [\text{ }] kgf/cm^2 \times [\text{ }] cm^2 \}}{[\text{ }] \times 1000 kgf} = [\text{ }]$$

$$\therefore C_{su} = (\text{ })$$

4.2 단 변 방향 (Y방향)의 내력 산정 (1층)

▪ 건물전층의 총중량 $\sum A_f (= \text{ } m^2) \times 1.0 \text{ tf}/m^2 (\text{바닥면적당 단위중량:} w) = (\text{ }) \text{ tf}$

▪ 횡파괴형 부재의 내력값 산정

$$\sum a_{fc}: \text{일반기둥의 단면적 합} = \text{ } cm^2$$

$$C_{fy} = \frac{\tau_{fc} \sum a_{fc}}{\sum A_f \cdot w} = \frac{[\quad] kgf/cm^2 \times [\quad] cm^2}{[\quad] \times 1000 kgf} = [\quad]$$

$$\therefore C_{fy} = (\quad)$$

▪ 전단파괴형 부재의 내력값 산정

$$\sum a_{ec}: \text{극단주의 전체면적} = \quad cm^2$$

$$\sum a_{oe}: \text{단주의 전체면적} = \quad cm^2$$

$$\sum a_{sw}: \text{벽체의 전체면적} = \quad cm^2$$

$$\sum a_{aw}: \text{조적체움벽의 전체면적} = \quad cm^2$$

$$C_{su} = \frac{V_{su}}{\sum A_f \cdot w} = \frac{\tau_{sc} \sum a_{sc} + \tau_{oc} \sum a_{oc} + \tau_{sw} \sum a_{sw} + \tau_{bw} \sum a_{bw}}{\sum A_f \cdot w}$$

$$= \frac{\{ [\quad] kgf/cm^2 \times [\quad] cm^2 \} + \{ [\quad] kgf/cm^2 \times [\quad] cm^2 \} + \{ [\quad] kgf/cm^2 \times [\quad] cm^2 \} + \{ [\quad] kgf/cm^2 \times [\quad] cm^2 \}}{[\quad] \times 1000 kgf} = [\quad]$$

$$\therefore C_{su} = (\quad)$$

5. 최대 입력지진 가속도(α) 산정

▪ 내진성능 평가를 위한 기본 지진가속도는 제Ⅱ.2.가절에 나타난 각 지진구역별 500년, 2400년 재현주기 지진의 유효지반가속도(S)로 정의하였으며, 평가용 최대 지진가속도(α)는 유효지반가속도(S)에 제Ⅱ.2.다절에 나타난 지반종류에 따른 지반증폭계수(F_a)(표 Ⅱ.6)를 곱한 단주기의 설계스펙트럼가속도(S_{DS})를 이용하여 식 (2.1) 및 식(2.2)에 의해서 산정한다. 표 Ⅱ.2에는 지반종류에 따른 단주기의 설계스펙트럼가속도(S_{DS})를 나타내며, 표 Ⅱ.3에는 평가용 최대 지진가속도(α)를 나타낸다.

$$\alpha = \frac{S_{DS}}{2.5} = S \times F_a \quad (500\text{년 재현주기의 경우}) \quad (2.1)$$

$$\alpha = \frac{S_{DS}}{2.5} = S \times F_a \times 2/3 \quad (2500\text{년 재현주기 } 2/3 \text{ 수준의 경우}) \quad (2.2)$$

5.1 지진지역 구분 및 지역계수 (A)

▪ 지역계수 : 지진지역 ()/지역계수 값 ($S =$) ☐ 지진지역 1 ☐ 지진지역 2

표 II.4 지진구역 구분 및 지역계수

지진구역	행정구역	유효지반가속도 S
1	지진구역 2를 제외한 전지역*	0.22
2	강원도 북부, 전라남도 남서부, 제주도	0.14

주* 강원도 북부(군,시): 홍천, 철원, 화천, 횡성, 평창, 양구, 인제, 고성, 양양, 춘천시, 속초시, 전라남도 남서부(군,시): 무안, 신안, 완도, 영광, 진도, 해남, 영암, 강진, 고흥, 함평, 목포시

5.2 지반종류 구분 및 지진지역 단주기 (S_{DS}) 계산

■ 지반종류 체크 : ☐ S_A ☐ S_B ☐ S_C ☐ S_D ☐ S_E

표 II.5 지반의 분류

지반 종류	지반종류의 호 칭	상부 30m에 대한 평균 지반특성		
		전단파속도 (m/s)	표준관입시험 \overline{N} (타격횟수/300mm)	비배수전단강도 $\overline{s_u}$ ($\times 10^{-3}$ MPa)
S_A	경암 지반	1500 초과	-	-
S_B	보통암 지반	760에서 1500		
S_C	매우 조밀한 토사 지반 또는 연암 지반	360에서 760	> 50	> 100
S_D	단단한 토사 지반	180에서 360	15에서 50	50에서 100
S_E	연약한 토사 지반	180 미만	< 15	< 50

표 II.6 지반증폭계수 F_a

지반종류	지진구역		
	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.50$	$S_s = 0.75$
S_A	0.8	0.8	0.8
S_B	1.0	1.0	1.0
S_C	1.2	1.2	1.1
S_D	1.6	1.4	1.2
S_E	2.5	1.9	1.3

* S_s 는 S 를 2.5배한 값이다. 위 표에서 S_s 의 중간값에 대하여는 직선 보간한다.

5.3 최대 입력가속도 (α) 결정

표 II.2 재현주기별 단주기 설계스펙트럼 가속도(S_{DS})

지반종류	지진구역 1*		지진구역 2*	
	500년	2400년 2/3	500년	2400년 2/3
S_A	0.22	0.29	0.14	0.19
S_B	0.28	0.37	0.175	0.23
S_C	0.33	0.43	0.21	0.28
S_D	0.44	0.50	0.28	0.35
S_E	0.68	0.70	0.44	0.53

* 지진구역1 및 지진구역2는 표 II.4참조

표 II.3 재현주기별 평가용 최대 지진가속도(α)

지반종류	지진구역 1*		지진구역 2*	
	500년	2400년 2/3	500년	2400년 2/3
S_A	0.09	0.12	0.06	0.08
S_B	0.11	0.15	0.07	0.09
S_C	0.13	0.17	0.08	0.11
S_D	0.18	0.20	0.11	0.14
S_E	0.27	0.28	0.18	0.21

* 지진구역1 및 지진구역2는 표 II.4참조

▪ 입력가속도(α) : $\alpha = \frac{S_{DS}}{2.5} = \frac{[\quad]}{2.5} = [\quad]g$

6. 입력지진파(α)에 따른 요구성능판정지표(E_d) 및 내진성능 예비 평가용 factor값 계산

▪ 요구성능판정지표(E_{di}) 및 내진성능 예비 평가용 factor 산정용 식

<표 Ⅲ.6> 평가용 지진가속도(α)에 따른 요구성능 판정지표(E_{di}) 및
내진성능 평가용 지표(β , G , P) 계산식

지진규모 지표값	$0.1g \leq \alpha \leq 0.2g$	$0.2g < \alpha \leq 0.3g$			
E_{di} ($i = 1 \sim 4$)	$E_{d1} = E_{d2} = E_{d3} = E_{d4}$	경미/무피해 판정용(E_{d1})	소규모 피해 판정용(E_{d2})	중규모 피해 판정용(E_{d3}, E_{d4})	대규모 피해 판정용
	$2\alpha + 0.05$	$1.1\alpha + 0.23$	$2\alpha + 0.05$	$1.5\alpha + 0.15(E_{d3})$ $2\alpha + 0.05(E_{d4})$	-
β	$2.1 - 6\alpha$	$1.42 - 2.6\alpha$			
G	$2.2\alpha + 0.06$	$\alpha + 0.3$			
P	0.15	$0.31 - 0.8\alpha$			

▪ 요구성능판정지표 값

<지진규모: $0.1g \leq \alpha \leq 0.2g$ >

$$E_{di}(i = 1 \sim 4) = 2\alpha + 0.05 = [\quad]$$

<지진규모: $0.2g < \alpha \leq 0.3g$ >

$$E_{d1} = 1.1\alpha + 0.23 = [\quad], \quad E_{d2} = 2\alpha + 0.05 = [\quad], \quad E_{d3} = 1.5\alpha + 0.15 = [\quad],$$

$$E_{d4} = 2\alpha + 0.05 = [\quad]$$

▪ 내진성능 예비 평가용 factor 값

<지진규모: $0.1g \leq \alpha \leq 0.2g$ >

$$\beta = 2.1 - 6\alpha = [\quad], \quad G = 2.2\alpha + 0.06 = [\quad], \quad P = 0.15$$

<지진규모: $0.2g < \alpha \leq 0.3g$ >

$$\beta = 1.42 - 2.6\alpha = [\quad], \quad G = \alpha + 0.3 = [\quad], \quad P = 0.31 - 0.8\alpha = [\quad]$$

7. 건물피해 및 내진성능 평가점수 산정

7.1 경미한 피해 판정 및 내진성능 평가 점수 계산

▪ 경미한 피해 요구성능 계산: $E_{p1} = (0.75C_{su} + 0.3C_{fy}) \times 0.78 = [\quad]$

▪ 경미한 피해 판정

- $\frac{E_{d1}}{E_{p1}} = [\quad] \leq [\quad]$ (Yes) ⇒ 본 건물은 **경미한 피해 최종판정**: 내진성능 평가점수 계산
- $\frac{E_{d1}}{E_{p1}} = [\quad] > [\quad]$ (Yes) ⇒ 7.2항 소규모 피해 판정 및 내진성능 평가 점수 계산으로 이동
- 내진성능 평가점수 : $\frac{E_{p1}}{E_{d1}} \times 100 = (\quad)$ 점
- 120점 이상(I) □ 110점 이상~120점미만(II) □ 100점 이상~110점미만(III)

7.2 소규모 피해 판정 및 내진성능 평가 점수 계산

- 소규모 피해 요구성능 계산: $E_{p2} = \sqrt{\{(C_{su} - E_{d2}) \times 0.78\}^2 + \{0.9C_{fy} \times 0.8\}^2} = [\quad]$
- 소규모 피해 판정
- $\frac{E_{d2}}{E_{p2}} = [\quad] \leq [\quad]$ (Yes) ⇒ 본 건물은 **소규모 피해로 최종판정**: 내진성능 평가점수 계산
- $\frac{E_{d2}}{E_{p2}} = [\quad] > [\quad]$ (Yes) ⇒ "7.3항 중·대규모 피해 판정 및 내진성능 평가 점수 계산"으로 이동
- 내진성능 평가점수 : $\frac{E_{p2}}{E_{d2}} \times 100 = (\quad)$ 점
- 120점 이상(I) □ 110점 이상~120점미만(II) □ 100점 이상~110점미만(III)

7.3 중·대규모 피해 판정 및 내진성능 평가 점수 계산

- 중규모 피해 요구성능 계산
- $$E_{p3} = (0.83C_{su} + 0.5C_{fy}) \times 0.8 = [\quad]$$
- $$E_{p4} = \sqrt{\left\{ \left(C_{su} - \frac{E_{d4}}{2} \right) \right\}^2 + \{ C_{fy} \times 1.27 \}^2} = [\quad]$$
- 중규모 및 대규모 피해 판정
- $\frac{E_{d3}}{E_{p3}} = [\quad] > [\quad]$ and $\frac{E_{d4}}{E_{p4}} = [\quad] > [\quad]$ (No): 하나만 만족하거나 둘 다 만족하지 않을 경우
- ⇒ 본 건물은 **중규모 피해로 최종판정**: 내진성능 평가점수 계산
- $\frac{E_{d3}}{E_{p3}} = [\quad] > [\quad]$ and $\frac{E_{d4}}{E_{p4}} = [\quad] > [\quad]$ (Yes): 둘 다 만족하는 경우
- ⇒ 본 건물은 **대규모 피해로 최종판정**: "7.4항 대규모 피해용 내진성능 점수 계산"으로 이동
- 내진성능 평가점수 계산
- $C_{su} < G$ 이면 $\frac{E_{p4}}{E_{d4}} \times 100(1 - \sqrt{\beta C_{su}}) + 100\sqrt{\beta C_{su}} = (\quad)$ 점
- 120점 이상(I) □ 110점 이상~120점미만(II) □ 100점 이상~110점미만(III)

☐ 120점 이상(Ⅰ) ☐ 110점 이상~120점 미만(Ⅱ) ☐ 100점 이상~110점 미만(Ⅲ)

$$\square \quad C_{su} < G \text{ 이면 } \text{식(6.1)} = \frac{E_{p4}}{E_{d4}} \times 100 = (\quad) \text{점}$$

$$\square \quad 90 \text{점 이상} \sim 100 \text{점 미만 (I)} \quad \square \quad 80 \text{점 이상} \sim 90 \text{점 미만 (II)} \quad \square \quad 80 \text{점 미만 (III)}$$

$$\square \quad C_{su} \geq G \text{ 이면 } \text{식(6.4)} = \frac{E_{p3}}{E_{d3}} \times 100 + \frac{200(E_{p3} - E_{d3})}{3E_{d3}} = (\quad) \text{점}$$

$$\square \quad 90 \text{점 이상} \sim 100 \text{점 미만 (I)} \quad \square \quad 80 \text{점 이상} \sim 90 \text{점 미만 (II)} \quad \square \quad 80 \text{점 미만 (III)}$$

▪ 최종 지진피해도 판정 결과 = () 표 II.9 참조
 ▪ 최종 내진성능 평가 점수 = () 표 II.9 참조
 ▪ 최종 내진등급 = () 표 II.9 참조

■ 최종 내진성능 판정 결과 = () 표 II.11 참조

표 II.9 내진성능 예비평가 결과와 내진등급과의 관계

피해구분	성능수준	내진성능평가 점수 (SES)	내진성능 등급	
			500년 재현주기	2400년 재현주기 2/3
경미한 피해	OP	SES≥120	A	A
		110≤SES<120		
		100≤SES<110		
소규모 피해	IO	SES≥120		
		110≤SES<120		
		100≤SES<110		
중규모 피해	DCR	SES≥120	B	
	LS	110≤SES<120	C	
		100≤SES<110	D	
대규모 피해	LSR	90≤SES<100		B
	CP	70≤SES<90	C	
붕괴	C	50≤SES<70	E	D
		0≤SES<50		E

표 II.11 내진성능평가에 의한 구조물의 내진성능 판정법

등급 부호	지진 재현주기별 성능수준		예비평가	상세평가	조 치
	500년	2400년 2/3			
A등급	IO 이하	LS 이하	OK	OK	일상적인 유지관리
B등급	DCR	LSR	OK	OK	간략한 보수나 보강에 의해 기능수행
C등급	LS	CP	상세평가 실시	보강	내진보강설계에 의한 보강을 실시하여 내진성능을 향상
D등급	LSR	C	상세평가 실시	보강	내진보강설계에 의한 보강을 실시하여 내진성능을 향상
E등급	CP 이상	C	상세평가 실시	보강/철거판단	경제성분석에 의해 전체 구조의 성능개량이나 철거를 판단하고, 성능개량 판정 시에는 내진보강설계에 의한 구조의 성능을 전면적으로 개량하여 내진성능을 향상

【부록 2】 내진성능 상세평가 시트



1. 기본 정보

- 정리번호 : _____ 호
 ▪ 평가횟수 : _____ 회
 ▪ 평가일시 : _____ 년 _____ 월 _____ 일
 ▪ 평가자 : _____
 ▪ 소속 : _____

2. 건물 및 재료 개요

- 건물 명칭 : _____
 ▪ 건물 위치 : _____
 ▪ 건물 규모 : 지상 ()층, 지하 ()층, 1층의 스패ん길이 : ()m × ()m
 ▪ 지상 높이 : ()m
 ▪ 부지의 지형 : _____
 ▪ 시공 년도 : _____ ~ _____ 년 (☐ 1988년이전 ☐ 1988년이후 ☐ 불명확)
 ▪ 콘크리트 (f_{ck}) : _____ MPa (_____ kg/cm²) ▪ 철근 (σ_y) : _____ MPa (_____ kg/cm²)

3. 보유성능 평가

3.1 극한강도 (Q_u) 산정

부재		M_u (t • m)	$Q_{mu}(t)$	$Q_{su}(t)$	$Q_u(t)$	파괴 형식	Q_{su}/Q_{mu}
層	名						
1	W1						
	C1						
∴		∴	∴	∴	∴	∴	∴

- 전단극한강도 Q_{su} 및 휨극한강도 M_u 의 계산에는 기존 연구된 적합성이 좋은 식을 사용하는 것으로 한다(문헌[3][4][15][16][17] 참조). 이 중, 특히 Q_{su} 에 대해서는 하한에 가까운 값이 얻어지는 식을 이용하는 것으로 하나, 특별한 검토를 하지 않을 때에는 Q_{su} 와 M_u 는 일본내진진단기준⁽⁴⁾에 나타내는 부재 극한강도 계산식을 사용해도 된다.

계산식 예: 일본 내진진단기준

$$M_u = 0.8 a_t \cdot \sigma_y \cdot D + 0.5 N \cdot D \left(1 - \frac{N}{b D f_{ck}} \right)$$

a_t : 인장철근 단면적(cm^2)

N : 축력(kg)

σ_y : 철근 항복점 강도(kg/cm^2)

b : 부재 단면 폭(하중 직각방향)(cm)

D : 부재 단면 높이(하중 방향)(cm)

f_{ck} : 콘크리트 압축강도(kg/cm^2)

$$Q_{mu} = \frac{M_u}{h_0/2} \quad h_0 : \text{순 길이(cm)}$$

$$Q_{su} = \left\{ \frac{0.053 P_t^{0.23} (180 + f_{ck})}{M/(Q \cdot d) + 0.12} + 2.7 \sqrt{P_w \cdot \sigma_{wy}} + 0.1 \sigma_o \right\} \cdot b \cdot j$$

P_t : 인장철근비(%)

σ_{wy} : 전단보강근 항복점 강도(kg/cm^2)

M/Q : $h_0/2$ 로 하여도 좋다.

σ_o : 축방향 응력도(N/bD)(kg/cm^2)

P_w : 전단보강근비. 단, $P_w \leq 0.012$ 일 때는 $P_w = 0.012$ 로 한다.

j : 응력 중심간 거리, $0.8D$ 로 하여도 좋다.

- Q_u 는 Q_{mu} 와 Q_{su} 중 작은 값을 사용

▪ 파괴형식

- 벽은 모두 전단벽, 기둥은 h_0/D 가 2이하인 기둥은 극취성기둥, h_0/D 가 2초과인 기둥 중 $Q_{mu} < Q_{su}$ 인 경우는 휨기둥, $Q_{mu} \geq Q_{su}$ 인 경우 전단기둥으로 분류.

3.2 연성지표 (F) 산정

		F
기둥	극취성기둥	0.8
	전단기둥	1.0
	휨기둥	$\frac{\sqrt{2\mu-1}}{0.75(1+0.05\mu)}$
벽	전단벽	1.0

부재		파괴 형식	μ	F	그룹
층	각				
1	W1				
	C1				
\vdots		\vdots	\vdots	\vdots	\vdots

▪ 휨기둥의 종국소성율 μ

$\mu = \mu_o - k_1 - k_2$ 단, $1 \leq \mu \leq 5$ 로 한다.

$$\mu_o : 10 \left(\frac{Qsu}{Qmu} - 1 \right)$$

$$k_2 : 30 \left(\frac{\tau_{Mu}}{f_{ck}} - 0.1 \right) \geq 0$$

$$k_1 : 2.0$$

$$\tau_{Mu} : Qmu / (b \cdot j)$$

(k_1 의 경우, 띠철근간격이 주근지름의 8배 이하인 경우는 0으로 하여도 좋다)

▪ 파괴형식 및 연성지표 F 의 값이 비슷한 것을 최대한 정리하여 최대 3개의 그룹으로 분류한다.

- 연성지표 F 가 작은 순으로 제1그룹, 제2그룹, 제3그룹으로 명한다.

3.3 강도지표 (C) 및 보유성능 (E_o) 산정

부재		$\sum Qu(t)$	$W(t)$	C	F	$\frac{(n+1)}{(n+i)}$	E_o		
층 (방향)	그룹						$E_{o(1)}$	$E_{o(2)}$	$E_{o\max}$
1 (X)	1								
	2								
	3								
\vdots		\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots

▪ 강도지표 C

$$C = \frac{\sum Qu}{W}, \quad W : \text{그 층보다 위의 건물 전 중량}$$

n : 건물 층 수

i : 대상 층 수

표 IV.4 전단 (C_{su}) 및 휨파괴형 (C_{fy}) 부재의 종국강도 분류

종국강도 분류	종국강도 값
전단파괴형 부재의 종국강도 (C_{su})	C_{su} = 연성지표 F 가 1이하인 경우의 강도지표의 합 $\sum C$
휨파괴형부재의 종국강도 (C_{fy})	C_{fy} = 연성지표 F 가 1을 초과한 경우의 강도지표의 합 $\sum C$

- C_{su} : 연성지표 F 가 1이하인 경우의 C	$C_{su} = (\quad)$
- C_{fy} : 연성지표 F 가 1초과한 경우의 C	$C_{fy} = (\quad)$

▪ 최종 E_0 는 $E_{0(1)}$ 과 $E_{0(2)}$ 중 더 큰 값으로 결정한다.

$$- E_{0(1)} = \frac{n+1}{n+i} (C_1 + \alpha_2 C_2 + \alpha_3 C_{3w}) \times F_1$$

C_i, F_i : i 그룹의 강도지표, 연성지표

$$- E_{0(2)} = \frac{n+1}{n+i} \sqrt{(C_1 \times F_1)^2 + (C_2 \times F_2)^2 + (C_3 \times F_3)^2}$$

4. 내진 성능 평가

4.1 지진동 (α) 산정

C_{su}	C_{fy}

$\mu_f(\mu_s)$	0.3(5)	0.6(10)	1	2	4
$\alpha(g)$					

▪ C_{su}, C_{fy}, μ_f 및 α 의 관계식

$$\mu_{f=0.3} : 0.3 = \frac{0.08}{1.03} \alpha^{-0.97} [C_{fy} + 1.9\alpha(\alpha - 0.005)^{-0.7} C_{su}] \quad (4.10a)$$

$$\mu_{f=0.6} : 0.6 = \frac{0.24}{1.1} \alpha^{-0.99} [C_{fy} + 1.54\alpha(\alpha - 0.017)^{-0.6} C_{su}] \quad (4.10b)$$

$$\mu_{f=1.0} : 1.0 = \frac{0.65}{1.1} \alpha^{-0.9} [C_{fy} + 1.02\alpha(\alpha - 0.007)^{-0.58} C_{su} + 0.008\alpha(\alpha + 0.003)^{-3} C_{su}^2] \quad (4.10c)$$

$$\mu_{f=2.0} : 2.0 = \frac{1.7}{1.1} \alpha^{-1.12} [C_{fy} + 0.7\alpha^2(\alpha - 0.007)^{-0.96} C_{su} + 0.12\alpha(\alpha - 0.011)^{-1.7} C_{su}^2] \quad (4.10d)$$

$$\mu_{f=4.0} : 4.0 = \frac{4.1}{1.1} \alpha^{-1.23} [C_{fy} + 0.018\alpha^2(\alpha - 0.001)^{-1.1} C_{su} + 0.4\alpha(\alpha - 0.017)^{-1.16} C_{su}^2] \quad (4.10e)$$

▪ α 의 범위

- $\mu_f = 0.3, 0.6$ 식의 경우 $0 \leq \alpha \leq 0.35g$ - $\mu_f = 1, 2, 4$ 식의 경우 $0.1g \leq \alpha \leq 0.35g$

4.2 내진 성능 잔존률(RSC) 산정

특정 연성율	연성율별 지진가속 도 수준 (제IV.4 절)	보유성 능 (제IV.3 절)	전단 및 휨파괴형 부재의 손상도 (표 IV.6)		내진성능 저감계수 (η)		지진피 해 후의 보유성 능	잔존 내진성능
μ_f	$\alpha (g)$	E_o	전단파괴	휨파괴	전단파괴	휨파괴	$_D E_o$	RSC(%)
0.3			Ⅲ	I	0.3	0.95		
0.6			Ⅳ	I	0	0.95		
1			Ⅳ	Ⅱ	0	0.75		
2			Ⅳ	Ⅲ	0	0.5		
4			Ⅳ	Ⅳ	0	0.1		

▪ 내진 성능 잔존률(RSC)

$$RSC = \frac{{}_D E_o (= \eta E_o)}{E_o} \times 100(\%) \quad (4.11)$$

여기서, E_o : 지진피해 전의 보유성능 (제IV.3절 참조)

$_D E_o$: 지진피해 후의 보유성능 ($= \eta \cdot E_o$)

η : 내진성능 저감계수 (표 IV.6 참조)

표 IV.6 부재의 내진성능 저감계수(η)

지진손상도	전단파괴형 기둥	휨파괴형 기둥	전단벽
I	0.95	0.95	0.95
II	0.6	0.75	0.6
III	0.3	0.5	0.3
IV	0	0.1	0
V	0	0	0

주) 내진성능 저감계수는 부재의 실험연구를 바탕으로 유도한 것으로서, 부재의 내력-변형관계곡선을 이상화하여 부재가 소산한 지진에너지와 잔존에너지 흡수능력을 이용하여 설정한 계수임.

5. 최대 입력지진 가속도(α) 산정

- 내진성능 평가를 위한 기본 지진가속도는 제Ⅱ.2.가절에 나타난 각 지진구역별 500년, 2400년 재현주기 지진의 유효지반가속도(S)로 정의하였으며, 평가용 최대 지진가속도(α)는 유효지반가속도(S)에 제Ⅱ.2.다절에 나타난 지반종류에 따른 지반증폭계수(F_a)(표 Ⅱ.6)를 곱한 단주기의 설계스펙트럼가속도(S_{DS})를 이용하여 식 (2.1) 및 식(2.2)에 의해서 산정한다. 표 Ⅱ.2에는 지반종류에 따른 단주기의 설계스펙트럼가속도(S_{DS})를 나타내며, 표 Ⅱ.3에는 평가용 최대 지진가속도(α)를 나타낸다.

$$\alpha = \frac{S_{DS}}{2.5} = S \times F_a \quad (500\text{년 재현주기의 경우}) \quad (2.1)$$

$$\alpha = \frac{S_{DS}}{2.5} = S \times F_a \times 2/3 \quad (2500\text{년 재현주기 } 2/3 \text{ 수준의 경우}) \quad (2.2)$$

5.1 지진지역 구분 및 지역계수 (A)

- 지역계수 : 지진지역 ()/지역계수 값 ($S =$) ☐ 지진지역 1 ☐ 지진지역 2

표 Ⅱ.4 지진구역 구분 및 지역계수

지진구역	행정구역	유효지반가속도 S
1	지진구역 2를 제외한 전지역*	0.22
2	강원도 북부, 전라남도 남서부, 제주도	0.14

주* 강원도 북부(군,시): 홍천, 철원, 화천, 횡성, 평창, 양구, 인제, 고성, 양양, 춘천시, 속초시, 전라남도 남서부(군,시): 무안, 신안, 완도, 영광, 진도, 해남, 영암, 강진, 고흥, 함평, 목포시

5.2 지반종류 구분 및 지진지역 단주기 (S_{DS}) 계산

■ 지반종류 체크 : ☐ S_A ☐ S_B ☐ S_C ☐ S_D ☐ S_E

표 II.5 지반의 분류

지반 종류	지반종류의 호 칭	상부 30m에 대한 평균 지반특성		
		전단파속도 (m/s)	표준관입시험 \overline{N} (타격횟수/300mm)	비배수전단강도 $\overline{s_u}$ ($\times 10^{-3}$ MPa)
S_A	경암 지반	1500 초과	-	-
S_B	보통암 지반	760에서 1500		
S_C	매우 조밀한 토사 지반 또는 연암 지반	360에서 760	> 50	> 100
S_D	단단한 토사 지반	180에서 360	15에서 50	50에서 100
S_E	연약한 토사 지반	180 미만	< 15	< 50

표 II.6 지반증폭계수 F_a

지반종류	지진구역		
	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.50$	$S_s = 0.75$
S_A	0.8	0.8	0.8
S_B	1.0	1.0	1.0
S_C	1.2	1.2	1.1
S_D	1.6	1.4	1.2
S_E	2.5	1.9	1.3

* S_s 는 S 를 2.5배한 값이다. 위 표에서 S_s 의 중간값에 대하여는 직선 보간한다.

5.3 최대 입력가속도 (α) 결정

표 II.2 재현주기별 단주기 설계스펙트럼 가속도 (S_{DS})

지반종류	지진구역 1*		지진구역 2*	
	500년	2400년 2/3	500년	2400년 2/3
S_A	0.22	0.29	0.14	0.19
S_B	0.28	0.37	0.175	0.23
S_C	0.33	0.43	0.21	0.28
S_D	0.44	0.50	0.28	0.35
S_E	0.68	0.70	0.44	0.53

주* 지진구역1 및 지진구역2는 표 II.4참조

표 II.3 재현주기별 평가용 최대 지진가속도(α)

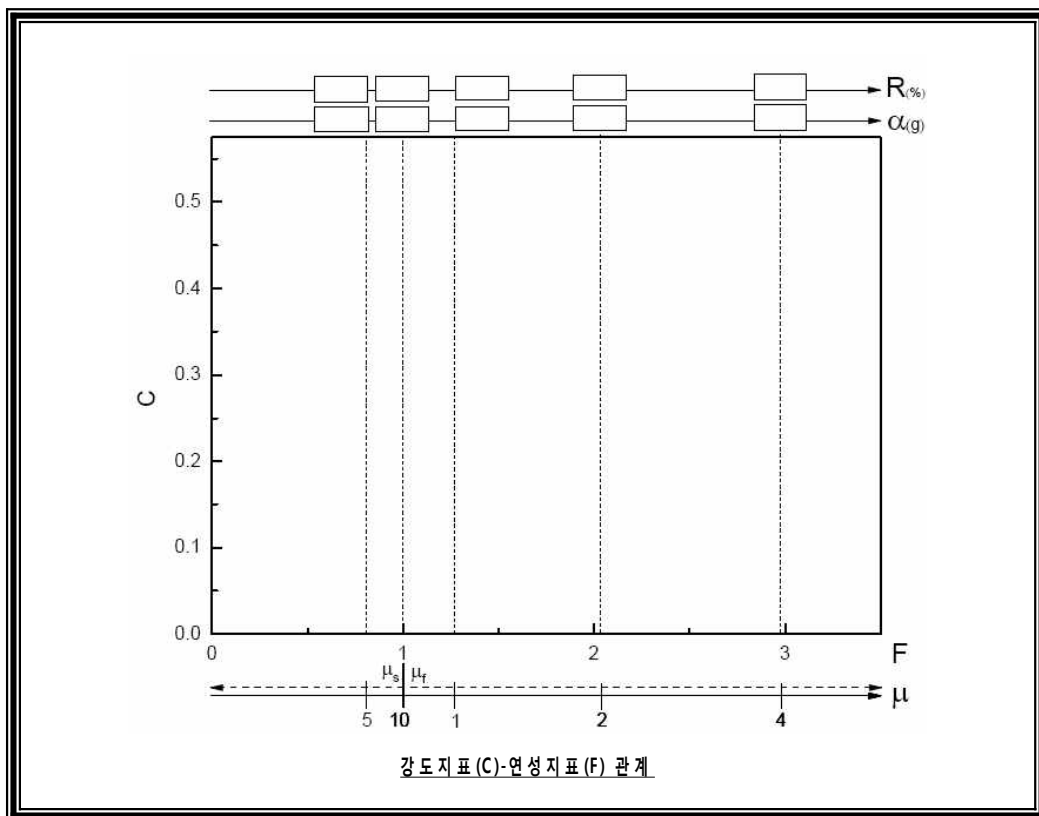
지반종류	지진구역 1*		지진구역 2*	
	500년	2400년 2/3	500년	2400년 2/3
S _A	0.09	0.12	0.06	0.08
S _B	0.11	0.15	0.07	0.09
S _C	0.13	0.17	0.08	0.11
S _D	0.18	0.20	0.11	0.14
S _E	0.27	0.28	0.18	0.21

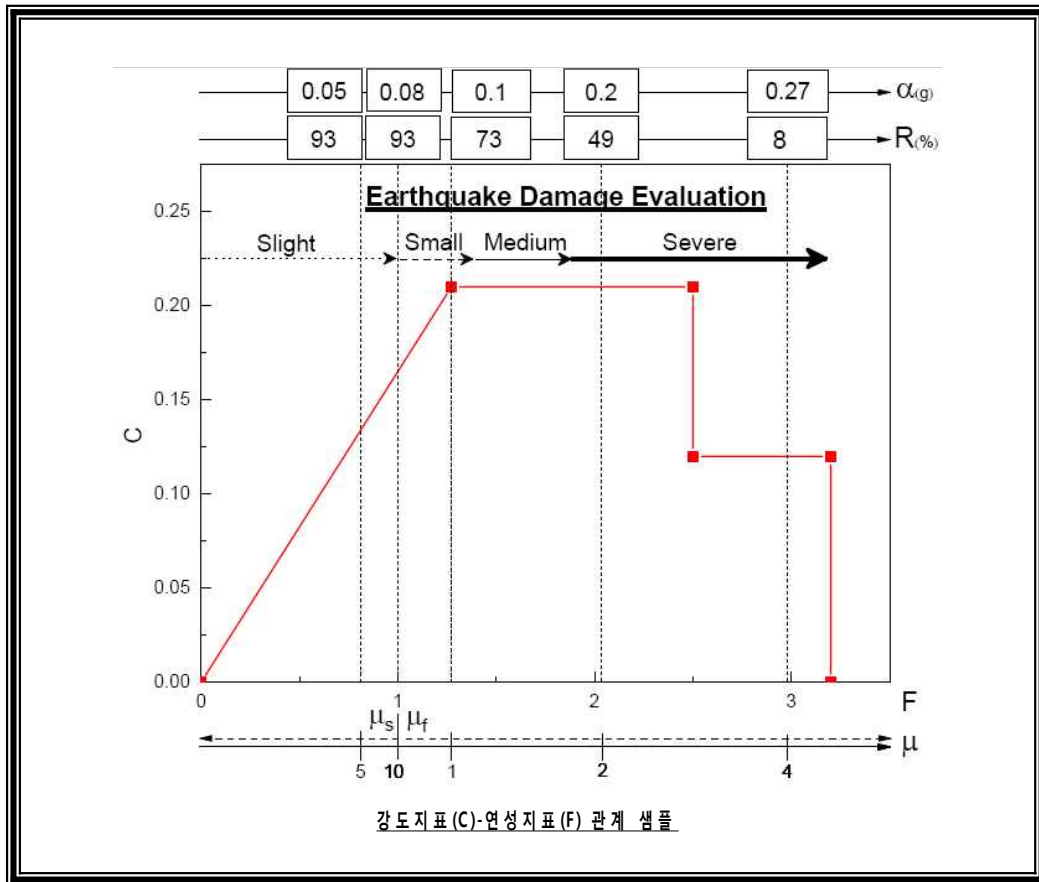
주* 지진구역1 및 지진구역2는 표 II.4참조

입력가속도(α) : $\alpha = \frac{S_{DS}}{2.5} = \left[\frac{\quad}{2.5} \right] = [\quad]g$

5. 강도지표(C)와 연성지표(F)의 관계그림

- 강도지표-연성지표 관계를 C-F 샘플을 참조로 작성함.





6. 내진 성능 등급 및 내진 성능 최종 판정

- 최종 내진 등급 = () 표 II.10 참조
- 최종 내진 성능 판정 결과 = () 표 II.11 참조

표 II.10 내진성능 상세평가 결과와 내진등급과의 관계

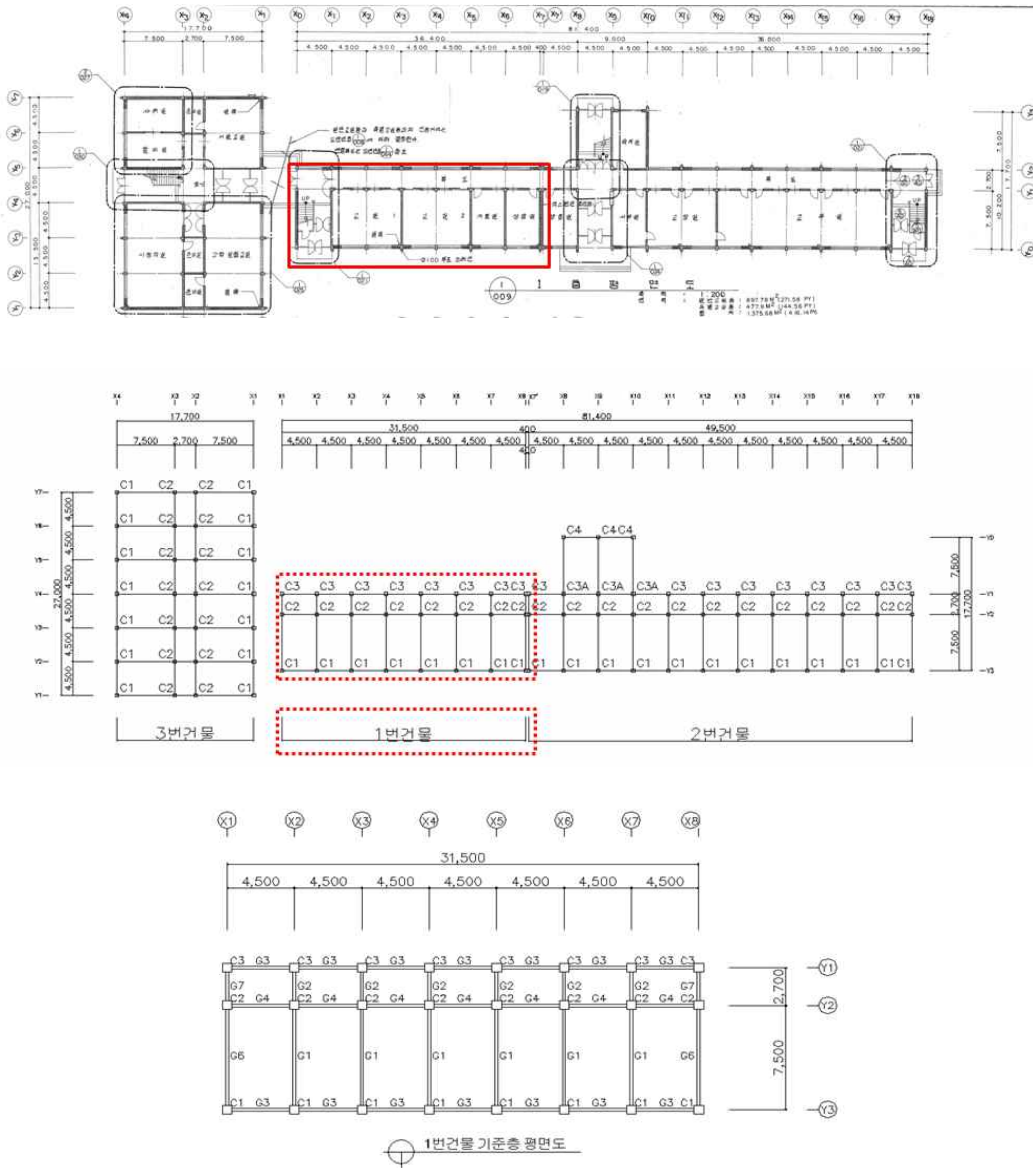
피해구분	성능수준	잔존 내진성능 (RSC)	내진성능 등급	
			500년 재현주기	2400년 재현주기 2/3
경미한 피해	OP	$RSC \geq 95$	A	A
소규모 피해	IO	$80 \leq RSC < 95$		
중규모 피해	DCR	$70 \leq RSC < 80$	B	
	LS	$60 \leq RSC < 70$	C	B
대규모 피해	LSR	$50 \leq RSC < 60$	D	
	CP	$20 \leq RSC < 50$	E	C
붕괴	C	$10 \leq RSC < 20$		D
		$0 \leq RSC < 10$		E

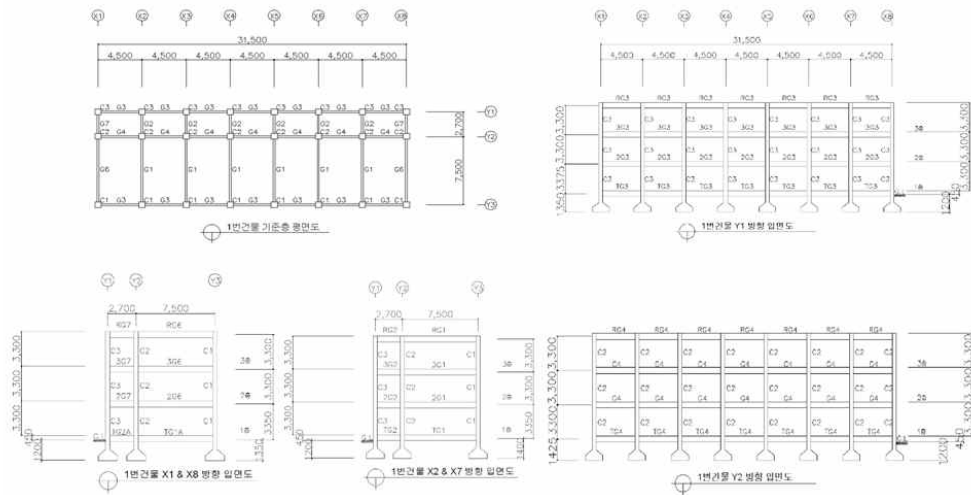
표 II.11 내진성능평가에 의한 구조물의 내진성능 판정법

등급 부호	지진 재현주기별 성능수준		예비평가	상세평가	조 치
	500년	2400년 2/3			
A등급	IO 이하	LS 이하	OK	OK	일상적인 유지관리
B등급	DCR	LSR	OK	OK	간략한 보수나 보강에 의해 기능수행
C등급	LS	CP	상세평가 실시	보강	내진보강설계에 의한 보강을 실시하여 내진성능을 향상
D등급	LSR	C	상세평가 실시	보강	내진보강설계에 의한 보강을 실시하여 내진성능을 향상
E등급	CP 이상	C	상세평가 실시	보강/철거판단	경제성분석에 의해 전체 구조의 성능개량이나 철거를 판단하고, 성능개량 판정 시에는 내진보강설계에 의한 구조의 성능을 전면적으로 개량하여 내진성능을 향상

【부록 3】 내진성능 예비평가 예제

- 대상건물 도면 : 1980년대 (다)형 표준도면 1번 건물
- 평가방향 : 장변방향 (X 방향)





	C1	C2	C3
3	<div> <ul style="list-style-type: none"> 8 - D19 2 - D16 <p>대관 D10 300 보조관 D10 900</p> </div>	<div> <ul style="list-style-type: none"> 6 - D19 2 - D16 <p>대관 D10 300 보조관 D10 900</p> </div>	<div> <ul style="list-style-type: none"> 8 - D16 <p>대관 D10 300 보조관 D10 900</p> </div>
2	<div> <ul style="list-style-type: none"> 8 - D19 2 - D16 <p>대관 D10 300 보조관 D10 900</p> </div>	<div> <ul style="list-style-type: none"> 8 - D19 2 - D16 <p>대관 D10 300 보조관 D10 900</p> </div>	<div> <ul style="list-style-type: none"> 8 - D16 <p>대관 D10 300 보조관 D10 900</p> </div>
1	<div> <ul style="list-style-type: none"> 8 - D19 2 - D16 <p>대관 D10 300 보조관 D10 900</p> </div>	<div> <ul style="list-style-type: none"> 12 - D19 2 - D16 <p>대관 D10 300 보조관 D10 900</p> </div>	<div> <ul style="list-style-type: none"> 8 - D16 <p>대관 D10 300 보조관 D10 900</p> </div>

1. 평가년도

- 정리번호 : _____ 호
- 평가일시 : _____ 년 _____ 월 _____ 일
- 평가횟수 : _____ 회
- 평가자 : _____
- 소속 : _____

2. 일반사항 (건물의 개요)

- 건물 명칭 : _____
- 건물 위치 : _____
- 건물 규모 : 지상 ()층, 지하 ()층, 1층의 스펜길이 : ()m × ()m
- 지상 높이 : ()m
- 부지의 지형 : _____
- 시공 년도 : _____ ~ _____ 년 (☐ 1988년 이전 ☐ 1988년 이후 ☐ 불명확)

3. 재료의 강도

- 콘크리트 (f_{ck}) : _____ MPa (_____ kg/cm²)
- 철근 (σ_y) : _____ MPa (_____ kg/cm²)

4. 각 부재의 내력값 산정 (건물의 1층)

- 내력산정에는 장변(X) 및 단변(Y)방향 2방향에 대해서 산정을 하며, 우선도 평가도 2방향에 대해서 독립적으로 평가를 한다.

<힘파괴형 부재>

- 힘파괴형 부재의 내력값 산정식: 일반기둥

$$\left(C_{fy} = \frac{V_{fy}}{\sum A_f \cdot w} = \frac{\tau_{fc} \sum a_{fc}}{\sum A_f \cdot w} \right) \quad (3.1)$$

여기서, $\sum a_{fc}$: 일반기둥의 단면적 합 (표 Ⅲ.2 참조)
 τ_{fc} : 일반기둥의 평균 전단응력도 (표 Ⅲ.2 참조)
 $\sum A_f$: 대상건물 전층의 바닥면적 합
 w : 바닥면적당 단위중량

표 3.2 건축시기별 일반기둥의 평균전단응력도

단위: MPa (kgf/cm²)

기둥 분류		건설연도			
		1970년 이전	1971년 -1987년	1988년 -2000년	2001년 이후
힘파괴	일반기둥 (h _o /D ≥ 6)	0.73 (7.3)	0.74 (7.4)	0.85 (8.5)	0.86 (8.6)

<전단파괴형 부재>

- 전단파괴형 부재의 내력값 산정식: 극단주, 단주, 벽체 및 조적채움벽

$$\left(C_{su} = \frac{V_{su}}{\sum A_f \cdot w} = \frac{\tau_{sc} \sum a_{sc} + \tau_{oc} \sum a_{oc} + \tau_{sw} \sum a_{sw} + \tau_{bw} \sum a_{bw}}{\sum A_f \cdot w} \right) \quad (3.2)$$

여기서, $\sum a_{sc}$: 극단주의 단면적 합 (표 Ⅲ.3 참조)

τ_{sc} : 극단주의 전단응력도 (표 Ⅲ.3 참조)

$\sum a_{oc}$: 단주의 단면적 합 (표 Ⅲ.3 참조)

τ_{oc} : 단주의 전단응력도 (표 Ⅲ.3 참조)

$\sum a_{sw}$: 벽체의 단면적 합 (표 Ⅲ.4 참조)

τ_{sw} : 벽체의 전단응력도 (표 Ⅲ.4 참조)

$\sum a_{bw}$: 조적채움벽의 단면적 합 (표 Ⅲ.5 참조)

τ_{bw} : 조적채움벽의 전단응력도 (표 Ⅲ.5 참조)

$\sum A_f$: 대상건물 전층의 바닥면적 합

w : 바닥면적당 단위중량

표 Ⅲ.3 건축시기별 극단주 및 단주의 평균전단응력도

단위: MPa (kgf/cm²)

기둥 분류		건설연도			
		1970년 이전	1971년 -1987년	1988년 -2000년	2001년 이후
전단파괴	극단주 (h _o /D ≤ 2)	1.30 (13.0)	1.35 (13.5)	1.43 (14.3)	1.50 (15.0)
	단주 (2 < h _o /D ≤ 6)	1.14 (11.4)	1.19 (11.9)	1.32 (13.2)	1.38 (13.8)

표 III.4 벽체의 평균전단응력도

단위: MPa (kgf/cm²)

양측에 기둥이 있는 벽	한쪽에 기둥이 있는 벽	기둥이 없는 벽
$\tau_{sw} = 3(30), a_{sw} = t \times l_{w1}$	$\tau_{sw} = 2(20), a_{sw} = t \times l_{w2}$	$\tau_{sw} = 1(10), a_{sw} = t \times l_{w3}$

표 III.5 끼움조적조의 평균전단응력도

단위: MPa (kgf/cm²)

종류	전단응력도 및 단면적	종류	전단응력도 및 단면적
양측에 기둥이 있는 조적채움 벽	$\tau_{bw} = 0.6(6), a_{bw} = t \cdot L_w$	한쪽만 기둥이 있는 조적채움 벽	$\tau_{bw} = 0.2(2), a_{bw} = t \cdot L_w$
기둥이 없는 조적채움 벽	$\tau_{bw} = 0.0$		$\tau_{bw} = 0.2(2), a_{bw} = t \cdot L_w$

4.1 장 변 방향 (X방향)의 내력 산정 (1층)

▪ 건물전층의 총중량 $\sum A_f (= \underline{963.9} \text{ } m^2) \times 1.0 \text{ tf}/m^2 (\text{바닥면적당 단위중량:} w) = (\underline{963.9}) \text{ tf}$

▪ 횡파괴형 부재의 내력값 산정

$$\sum a_{fc}: \text{일반기둥의 단면적 합} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ } cm^2$$

$$C_{fy} = \frac{\tau_{fc} \sum a_{fc}}{\sum A_f \cdot w} = \frac{[\quad] kgf/cm^2 \times [\quad] cm^2}{[\quad] \times 1000 kgf} = [\quad]$$

✓ $\therefore C_{fy} = (\underline{0.21})$

▪ 전단파괴형 부재의 내력값 산정

$$\sum a_{sc}: \text{극단주의 전체면적} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ } cm^2$$

$$\sum a_{oc}: \text{단주의 전체면적} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ } cm^2$$

$$\sum a_{sw}: \text{벽체의 전체면적} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ } cm^2$$

$$\sum a_{su}: \text{조적체움벽의 전체면적} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ } cm^2$$

$$C_{su} = \frac{V_{su}}{\sum A_f \cdot w} = \frac{\tau_{sc} \sum a_{sc} + \tau_{oc} \sum a_{oc} + \tau_{sw} \sum a_{sw} + \tau_{bw} \sum a_{bw}}{\sum A_f \cdot w}$$

$$= \frac{\{ [\quad] kgf/cm^2 \times [\quad] cm^2 \} + \{ [\quad] kgf/cm^2 \times [\quad] cm^2 \} + \{ [\quad] kgf/cm^2 \times [\quad] cm^2 \} + \{ [\quad] kgf/cm^2 \times [\quad] cm^2 \}}{[\quad] \times 1000 kgf} = [\quad]$$

✓ $\therefore C_{su} = (\underline{0.20})$

4.2 단 변 방향 (Y방향)의 내력 산정 (1층)

▪ 건물전층의 총중량 $\sum A_f (= \underline{\hspace{2cm}} \text{ } m^2) \times 1.0 \text{ tf}/m^2 (\text{바닥면적당 단위중량:} w) = (\underline{\hspace{2cm}}) \text{ tf}$

- 횡파괴형 부재의 내력값 산정

$$\sum a_{fc}: \text{일반기둥의 단면적 합} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ cm}^2$$

$$C_{fy} = \frac{\tau_{fc} \sum a_{fc}}{\sum A_f \cdot w} = \frac{[\quad] \text{ kgf/cm}^2 \times [\quad] \text{ cm}^2}{[\quad] \times 1000 \text{ kgf}} = [\quad]$$

$$\therefore C_{fy} = (\underline{\hspace{2cm}})$$

- 전단파괴형 부재의 내력값 산정

$$\sum a_{sc}: \text{극단주의 전체면적} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ cm}^2$$

$$\sum a_{oc}: \text{단주의 전체면적} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ cm}^2$$

$$\sum a_{sw}: \text{벽체의 전체면적} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ cm}^2$$

$$\sum a_{bw}: \text{조적채움벽의 전체면적} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ cm}^2$$

$$C_{su} = \frac{V_{su}}{\sum A_f \cdot w} = \frac{\tau_{sc} \sum a_{sc} + \tau_{oc} \sum a_{oc} + \tau_{sw} \sum a_{sw} + \tau_{bw} \sum a_{bw}}{\sum A_f \cdot w}$$

$$= \frac{\{ [\quad] \text{ kgf/cm}^2 \times [\quad] \text{ cm}^2 \} + \{ [\quad] \text{ kgf/cm}^2 \times [\quad] \text{ cm}^2 \} + \{ [\quad] \text{ kgf/cm}^2 \times [\quad] \text{ cm}^2 \} + \{ [\quad] \text{ kgf/cm}^2 \times [\quad] \text{ cm}^2 \}}{[\quad] \times 1000 \text{ kgf}} = [\quad]$$

$$\therefore C_{su} = (\underline{\hspace{2cm}})$$

5. 최대 입력지진 가속도(α) 산정

- 내진성능 평가를 위한 기본 지진가속도는 제Ⅱ.2.가절에 나타난 각 지진구역별 500년, 2400년 재현주기 지진의 유효지반가속도(S)로 정의하였으며, 평가용 최대 지진가속도(α)는 유효지반가속도(S)에 제Ⅱ.2.다절에 나타난 지반종류에 따른 지반증폭계수(F_a)(표 Ⅱ.6)를 곱한 단주기의 설계스펙트럼가속도(S_{DS})를 이용하여 식 (2.1) 및 식(2.2)에 의해서 산정한다. 표 Ⅱ.2에는 지반종류에 따른 단주기의 설계스펙트럼가속도(S_{DS})를 나타내며, 표 2.3에는 평가용 최대 지진가속도(α)를 나타낸다.

$$\alpha = \frac{S_{DS}}{2.5} = S \times F_a \quad (500\text{년 재현주기의 경우}) \quad (2.1)$$

$$\alpha = \frac{S_{DS}}{2.5} = S \times F_a \times 2/3 \quad (2500\text{년 재현주기 } 2/3 \text{ 수준의 경우}) \quad (2.2)$$

5.1 지진지역 구분 및 지역계수 (A)

지역계수 : 지진지역 (1)/지역계수 값 ($S = 0.22$) ☒ 지진지역 1 ☐ 지진지역 2

표 II.4 지진구역 구분 및 지역계수

지진구역	행정구역	유효지반가속도 S
1	지진구역 2를 제외한 전지역*	0.22
2	강원도 북부, 전라남도 남서부, 제주도	0.14

주* 강원도 북부(군,시): 홍천, 철원, 화천, 횡성, 평창, 양구, 인제, 고성, 양양, 춘천시, 속초시, 전라남도 남서부(군,시): 무안, 신안, 완도, 영광, 진도, 해남, 영암, 강진, 고흥, 함평, 목포시

5.2 지반종류 구분 및 지진지역 단주기 ($S_{0.5}$) 계산

지반종류 체크 : ☐ S_A ☒ S_B ☐ S_C ☐ S_D ☐ S_E

표 II.5 지반의 분류

지반 종류	지반종류의 호 칭	상부 30m에 대한 평균 지반특성		
		전단파속도 (m/s)	표준관입시험 \overline{N} (타격횟수/300mm)	비배수전단강도 $\overline{s_u}$ ($\times 10^{-3}$ MPa)
S_A	경암 지반	1500 초과	-	-
<input checked="" type="checkbox"/> S_B	보통암 지반	760에서 1500		
S_C	매우 조밀한 토사 지반 또는 연암 지반	360에서 760	> 50	> 100
S_D	단단한 토사 지반	180에서 360	15에서 50	50에서 100
S_E	연약한 토사 지반	180 미만	< 15	< 50

표 II.6 지반증폭계수 F_a

지반종류	지진구역		
	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.50$	$S_s = 0.75$
S_A	0.8	0.8	0.8
S_B	1.0	1.0	1.0
S_C	1.2	1.2	1.1
S_D	1.6	1.4	1.2
S_E	2.5	1.9	1.3

* S_s 는 S 를 2.5배한 값이다. 위 표에서 S_s 의 중간값에 대하여는 직선 보간한다.

5.3 최대 입력가속도 (α) 결정

표 II.2 재현주기별 단주기 설계스펙트럼 가속도(S_{DS})

지반종류	지역구역 1*		지진구역 2*	
	500년	2400년 2/3	500년	2400년 2/3
✓ S _A	0.22	0.29	0.14	0.19
✓ S _B	0.28	0.37	0.175	0.23
S _C	0.33	0.43	0.21	0.28
S _D	0.44	0.50	0.28	0.35
S _E	0.68	0.70	0.44	0.53

주* 지진구역1 및 지진구역2는 표 II.4참조

표 II.3 재현주기별 평가용 최대 지진가속도(α)

지반종류	지역구역 1*		지진구역 2*	
	500년	2400년 2/3	500년	2400년 2/3
✓ S _A	0.09	0.12	0.06	0.08
✓ S _B	0.11	0.15	0.07	0.09
S _C	0.13	0.17	0.08	0.11
S _D	0.18	0.20	0.11	0.14
S _E	0.27	0.28	0.18	0.21

주* 지진구역1 및 지진구역2는 표 II.4참조

▪ 입력가속도(α) : $\alpha = \frac{S_{DS}}{2.5} = \frac{0.28}{2.5} = 0.11g / 0.15g$

6. 입력지진파(α)에 따른 요구성능판정지표(E_d) 및 내진성능 예비 평가용 factor값 계산

- 요구성능판정지표(E_{di}) 및 내진성능 예비 평가용 factor 산정용 식

<표 III.6> 평가용 지진가속도(α)에 따른 요구성능 판정지표(E_{di}) 및
내진성능 평가용 지표(β, G, P) 계산식

지진규모 지표값	$0.1g \leq \alpha \leq 0.2g$	$0.2g < \alpha \leq 0.3g$			
E_{di} ($i = 1 \sim 4$)	$E_{d1} = E_{d2} = E_{d3} = E_{d4}$	경미/무피해 판정용(E_{d1})	소규모 피해 판정용(E_{d2})	중규모 피해 판정용(E_{d3}, E_{d4})	대규모 피해 판정용
	$2\alpha + 0.05$	$1.1\alpha + 0.23$	$2\alpha + 0.05$	$1.5\alpha + 0.15(E_{d3})$ $2\alpha + 0.05(E_{d4})$	-
β	$2.1 - 6\alpha$	$1.42 - 2.6\alpha$			
G	$2.2\alpha + 0.06$	$\alpha + 0.3$			
P	0.15	$0.31 - 0.8\alpha$			

▪ 요구성능판정지표 값

✓ 지진규모: $0.1g \leq \alpha \leq 0.2g$

$$E_{di}(i = 1 \sim 4) = 2\alpha + 0.05 = [0.27 / 0.35]$$

<지진규모: $0.2g < \alpha \leq 0.3g$ >

$$E_{d1} = 1.1\alpha + 0.23 = [\quad], \quad E_{d2} = 2\alpha + 0.05 = [\quad], \quad E_{d3} = 1.5\alpha + 0.15 = [\quad],$$

$$E_{d4} = 2\alpha + 0.05 = [\quad]$$

▪ 내진성능 예비 평가용 factor 값

✓ 지진규모: $0.1g \leq \alpha \leq 0.2g$

$$\beta = 2.1 - 6\alpha = [1.44 / 1.2], \quad G = 2.2\alpha + 0.06 = [0.3 / 0.39], \quad P = 0.15$$

<지진규모: $0.2g < \alpha \leq 0.3g$ >

$$\beta = 1.42 - 2.6\alpha = [\quad], \quad G = \alpha + 0.3 = [\quad], \quad P = 0.31 - 0.8\alpha = [\quad]$$

500년 재현주기

7. 건물피해 및 내진성능 평가점수 산정

7.1 경미한 피해 판정 및 내진성능 평가 점수 계산

▪ 경미한 피해 요구성능 계산: $E_{p1} = (0.75C_{su} + 0.3C_{fy}) \times 0.78 = [\quad] [0.049]$

▪ 경미한 피해 판정

☐ $E_{d1} \leq E_{p1} = [0.27] < [0.049]$ (Yes) \Rightarrow 본 건물은 **경미한 피해 최종판정**: 내진성능 평가점수 계산

☒ $E_{d1} > E_{p1} = [0.27] > [0.049]$ (Yes) \Rightarrow 7.2항 소규모 피해 판정 및 내진성능 평가 점수 계산으로 이동

▪ 내진성능 평가점수 : $\frac{E_{p1}}{E_{d1}} \times 100 = (\quad)$ 점

☐ 120점 이상 (I) ☐ 110점 이상 ~ 120점 미만 (II) ☐ 100점 이상 ~ 110점 미만 (III)

7.2 소규모 피해 판정 및 내진성능 평가 점수 계산

▪ 소규모 피해 요구성능 계산: $E_{p2} = \sqrt{\{(C_{su} - E_{d2}) \times 0.78\}^2 + \{0.9C_{fu} \times 0.8\}^2} = [\quad] [0.25]$

▪ 소규모 피해 판정

☐ $E_{d2} \leq E_{p2} = [0.27] < [0.25]$ (Yes) \Rightarrow 본 건물은 **소규모 피해로 최종판정**: 내진성능 평가점수 계산

☒ $E_{d2} > E_{p2} = [0.27] > [0.25]$ (Yes) \Rightarrow "7.3항 중·대규모 피해 판정 및 내진성능 평가 점수 계산"으로 이동

▪ 내진성능 평가점수 : $\frac{E_{p2}}{E_{d2}} \times 100 = (\quad)$ 점

☐ 120점 이상 (I) ☐ 110점 이상 ~ 120점 미만 (II) ☐ 100점 이상 ~ 110점 미만 (III)

7.3 중·대규모 피해 판정 및 내진성능 평가 점수 계산

▪ 중규모 피해 요구성능 계산

$E_{p3} = (0.83C_{su} + 0.5C_{fy}) \times 0.8 = [\quad] [0.084]$

$E_{p4} = \sqrt{\left\{ \left(C_{su} - \frac{E_{d4}}{2} \right) \right\}^2 + \{ C_{fy} \times 1.27 \}^2} = [\quad] [0.3]$

▪ 중규모 피해 판정

☒ $E_{d3} > E_{p3} = [0.27] > [0.084]$ and $E_{d4} > E_{p4} = [0.27] > [0.3]$ (No): 하나만 만족하거나 둘 다 만족하지 않을 경우

\Rightarrow 본 건물은 **중규모 피해로 최종판정**: 내진성능 평가점수 계산

☐ $E_{d3} > E_{p3} = [\quad] > [\quad]$ and $E_{d4} > E_{p4} = [\quad] > [\quad]$ (Yes): 둘다 만족하는 경우

\Rightarrow 본 건물은 **대규모 피해로 최종판정**: "7.4항 대규모 피해용 내진성능 점수 계산"으로 이동

▪ 내진성능 평가점수 계산

☑ $C_{su} < G$ 이면 식(6.2) = $\frac{E_{p4}}{E_{d4}} \times 100(1 - \sqrt{\beta C_{su}}) + 100\sqrt{\beta C_{su}} = (\text{111})$ 점

☐ 120점 이상(I) ☐ 110점 이상~120점미만(II) ☐ 100점 이상~110점미만(III)

☐ $C_{su} \geq G$ 이면 $\frac{E_{p3}}{E_{d3}} \times 100 \left(1 + \frac{C_{su} - G}{P} \right) - \frac{C_{su} - G}{P} \times 100 = (\quad)$ 점

☐ 120점 이상(I) ☐ 110점 이상~120점미만(II) ☐ 100점 이상~110점미만(III)

7.4 대규모 피해용 내진성능 점수 계산

☐ $C_{su} < G$ 이면 $\frac{E_{p4}}{E_{d4}} \times 100 = (\quad)$ 점

☐ 90점 이상~100점미만(I) ☐ 80점 이상~90점미만(II) ☐ 80점미만(III)

☐ $C_{su} \geq G$ 이면 $\frac{E_{p3}}{E_{d3}} \times 100 + \frac{200(E_{p3} - E_{d3})}{3E_{d3}} = (\quad)$ 점

☐ 90점 이상~100점미만(I) ☐ 80점 이상~90점미만(II) ☐ 80점미만(III)

9. 내진성능 점수와 내진등급 결정

▪ 최종 지진피해도 판정 결과 = (**중규모, LS**) 표 II.9 참조

▪ 최종 내진성능 평가 점수 = (**111**) 표 II.9 참조

▪ 최종 내진등급 = (**C**) 표 II.9 참조

10. 내진성능 최종판정

▪ 최종 내진성능 판정 결과 = (**상세평가 실시**) 표 II.11 참조

표 II.9 내진성능 예비평가 결과와 내진등급과의 관계

피해구분	성능수준	내진성능평가 점수 (SES)	내진성능 등급	
			500년 재현주기	2400년 재현주기 2/3
경미한 피해	OP	SES≥120	A	A
		110≤SES<120		
		100≤SES<110		
소규모 피해	IO	SES≥120		
		110≤SES<120		
		100≤SES<110		
중규모 피해	DCR	SES≥120	B	B
	LS	✓ 110≤SES<120	C	
		100≤SES<110	D	
대규모 피해	LSR	90≤SES<100	E	B
	CP	70≤SES<90		C
붕괴	C	50≤SES<70		D
		0≤SES<50		E

표 II.11 내진성능평가에 의한 구조물의 내진성능 판정법

등급 부호	지진 재현주기별 성능수준		예비평가	상세평가	조 치
	500년	2400년 2/3			
A등급	IO 이하	LS 이하	OK	OK	일상적인 유지관리
B등급	DCR	LSR	OK	OK	간략한 보수나 보강에 의해 기능수행
✓C등급	LS	CP	상세평가 실시	보강	내진보강설계에 의한 보강을 실시하여 내진성능을 향상
D등급	LSR	C	상세평가 실시	보강	내진보강설계에 의한 보강을 실시하여 내진성능을 향상
E등급	CP 이상	C	상세평가 실시	보강/철거판단	경제성분석에 의해 전체 구조의 성능개량이나 철거를 판단하고, 성능개량 판정 시에는 내진보강설계에 의한 구조의 성능을 전면적으로 개량하여 내진성능을 향상

24000년 재현주기 2/3

7. 건물피해 및 내진성능 평가점수 산정

7.1 경미한 피해 판정 및 내진성능 평가 점수 계산

▪ 경미한 피해 요구성능 계산: $E_{p1} = (0.75C_{su} + 0.3C_{fy}) \times 0.78 = [\quad] [0.049]$

▪ 경미한 피해 판정

☐ $E_{d1} \leq E_{p1} = [0.35] < [0.049]$ (Yes) \Rightarrow 본 건물은 **경미한 피해 최종판정**: 내진성능 평가점수 계산

☒ $E_{d1} > E_{p1} = [0.35] > [0.049]$ (Yes) \Rightarrow 7.2항 소규모 피해 판정 및 내진성능 평가 점수 계산으로 이동

▪ 내진성능 평가점수 : $\frac{E_{p1}}{E_{d1}} \times 100 = (\quad)$ 점

☐ 120점 이상 (I) ☐ 110점 이상 ~ 120점 미만 (II) ☐ 100점 이상 ~ 110점 미만 (III)

7.2 소규모 피해 판정 및 내진성능 평가 점수 계산

▪ 소규모 피해 요구성능 계산: $E_{p2} = \sqrt{\{(C_{su} - E_{d2}) \times 0.78\}^2 + \{0.9C_{fy} \times 0.8\}^2} = [\quad] [0.25]$

▪ 소규모 피해 판정

☐ $E_{d2} \leq E_{p2} = [0.35] < [0.25]$ (Yes) \Rightarrow 본 건물은 **소규모 피해로 최종판정**: 내진성능 평가점수 계산

☒ $E_{d2} > E_{p2} = [0.35] > [0.25]$ (Yes) \Rightarrow "7.3항 중·대규모 피해 판정 및 내진성능 평가 점수 계산"으로 이동

▪ 내진성능 평가점수 : $\frac{E_{p2}}{E_{d2}} \times 100 = (\quad)$ 점

☐ 120점 이상 (I) ☐ 110점 이상 ~ 120점 미만 (II) ☐ 100점 이상 ~ 110점 미만 (III)

7.3 중·대규모 피해 판정 및 내진성능 평가 점수 계산

▪ 중규모 피해 요구성능 계산

$E_{p3} = (0.83C_{su} + 0.5C_{fy}) \times 0.8 = [\quad] [0.084]$

$E_{p4} = \sqrt{\left\{ \left(C_{su} - \frac{E_{d4}}{2} \right) \right\}^2 + \{ C_{fy} \times 1.27 \}^2} = [\quad] [0.3]$

▪ 중규모 및 대규모 피해 판정

☐ $E_{d3} > E_{p3} = [0.35] > [0.084]$ and $E_{d4} > E_{p4} = [0.35] > [0.3]$ (No): 하나만 만족하거나 둘 다 만족하지 않을 경우

⇒ 본 건물은 **중규모 피해로 최종 판정**: 내진성능 평가점수 계산

☒ $E_{d3} > E_{p3} = [0.35] > [0.084]$ and $E_{d4} > E_{p4} = [0.35] > [0.3]$ (Yes): 둘다 만족하는 경우

⇒ 본 건물은 **대규모 피해로 최종 판정**: "7.4항 대규모 피해용 내진성능 점수 계산"으로 이동

▪ 내진성능 평가점수 계산

- ☐ $C_{su} < G$ 이면 $\frac{E_{p4}}{E_{d4}} \times 100(1 - \sqrt{\beta C_{su}}) + 100\sqrt{\beta C_{su}} = ()$ 점
- ☐ 120점 이상(I) ☐ 110점 이상~120점 미만(II) ☐ 100점 이상~110점 미만(III)
- ☐ $C_{su} \geq G$ 이면 $\frac{E_{p3}}{E_{d3}} \times 100 \left(1 + \frac{C_{su} - G}{P} \right) - \frac{C_{su} - G}{P} \times 100 = ()$ 점
- ☐ 120점 이상(I) ☐ 110점 이상~120점 미만(II) ☐ 100점 이상~110점 미만(III)

7.4 대규모 피해용 내진성능 점수 계산

- ☒ $C_{su} < G$ 이면 $\frac{E_{p4}}{E_{d4}} \times 100 = (\text{86})$ 점
- ☐ 90점 이상~100점 미만(I) ☐ 80점 이상~90점 미만(II) ☐ 80점 미만(III)
- ☐ $C_{su} \geq G$ 이면 $\frac{E_{p3}}{E_{d3}} \times 100 + \frac{200(E_{p3} - E_{d3})}{3E_{d3}} = ()$ 점
- ☐ 90점 이상~100점 미만(I) ☐ 80점 이상~90점 미만(II) ☐ 80점 미만(III)

9. 내진성능 점수와 내진등급 결정

- 최종 지진피해도 판정 결과 = (**대규모, CP**) 표 II.9 참조
- 최종 내진성능 평가 점수 = (**86**) 표 II.9 참조
- 최종 내진등급 = (**C**) 표 II.9 참조

10. 내진성능 최종판정

▪ 최종 내진성능 판정 결과 = (상세평가 실시) 표 II.11 참조

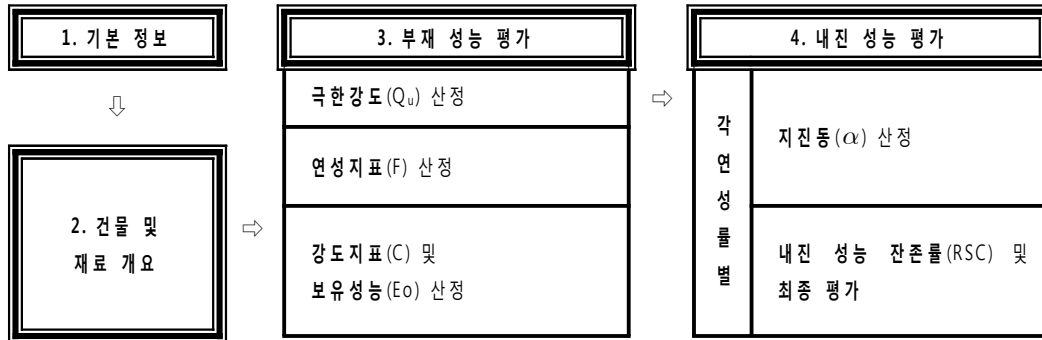
표 II.9 내진성능 예비평가 결과와 내진등급과의 관계

피해구분	성능수준	내진성능평가 점수 (SES)	내진성능 등급	
			500년 재현주기	2400년 재현주기 2/3
경미한 피해	OP	SES≥120	A	A
		110≤SES<120		
		100≤SES<110		
소규모 피해	IO	SES≥120		
		110≤SES<120		
		100≤SES<110		
중규모 피해	DCR	SES≥120	B	B
	LS	110≤SES<120	C	
		100≤SES<110	D	
대규모 피해	LSR	90≤SES<100	E	B
	CP	70≤SES<90		C
붕괴	C	50≤SES<70		D
		0≤SES<50		E

표 II.11 내진성능평가에 의한 구조물의 내진성능 판정법

등급 부호	지진 재현주기별 성능수준		예비평가	상세평가	조 치
	500년	2400년 2/3			
A등급	IO 이하	LS 이하	OK	OK	일상적인 유지관리
B등급	DCR	LSR	OK	OK	간략한 보수나 보강에 의해 기능수행
√C등급	LS	CP	상세평가 실시	보강	내진보강설계에 의한 보강을 실시하여 내진성능을 향상
D등급	LSR	C	상세평가 실시	보강	내진보강설계에 의한 보강을 실시하여 내진성능을 향상
E등급	CP 이상	C	상세평가 실시	보강/철거판단	경제성분석에 의해 전체 구조의 성능개량이나 철거를 판단하고, 성능개량 판정 시에는 내진보강설계에 의한 구조의 성능을 전면적으로 개량하여 내진성능을 향상

【부록 4】 내진성능 상세평가 예제 및 내진보강 기본 계획안



1. 기본 정보

- 정리번호 : _____ 호
- 평가횟수 : _____ 회
- 평가일시 : _____ 년 _____ 월 _____ 일
- 평가자 : _____
- 소속 : _____

2. 건물 및 재료 개요

- 건물 명칭 : _____
- 건물 위치 : _____
- 건물 규모 : 지상 (3)층, 지하 ()층, 1층의 스패길이 : (36)m × (10.2)m
- 지상 높이 : (9.9)m
- 부지의 지형 : _____
- 시공 년도 : _____ ~ _____ 년 (☐ 1988년이전 ☐ 1988년이후 ☐ 불명확)
- 콘크리트 (f_{ck}) = 21MPa (210 kgf/cm²) ▪ 철근 (σ_y) = 240MPa(2400 kgf/cm²)

3. 보유성능 평가

3.1 극한강도 (Q_u) 산정

부재		M_u (t • m)	$Q_{mu}(t)$	$Q_{su}(t)$	$Q_u(t)$	파괴 형식	Q_{su}/Q_{mu}
층	명						
1	W1						
	C1						
⋮		⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

- 전단극한강도 Q_{su} 및 휨극한강도 M_u 의 계산에는 기존 연구된 적합성이 좋은 식을 사용하는 것으로 한다(문헌[3][4][15][16][17] 참조). 이 중, 특히 Q_{su} 에 대해서는 하한에 가까운 값이 얻어지는 식을 이용하는 것으로 하나, 특별한 검토를 하지 않을 때에는 Q_{su} 와 M_u 는 일본내진진단기준⁽⁴⁾에 나타내는 부재 극한강도 계산식을 사용해도 된다.

계산식 예: 일본 내진진단기준

- $M_u = 0.8 a_t \cdot \sigma_y \cdot D + 0.5 N \cdot D \left(1 - \frac{N}{b D f_{ck}} \right)$
 a_t : 인장철근 단면적(cm^2) N : 축력(kg)
 σ_y : 철근 항복점 강도(kg/cm^2) b : 부재 단면 폭(하중 직각방향)(cm)
 D : 부재 단면 높이(하중 방향)(cm) f_{ck} : 콘크리트 압축강도(kg/cm^2)
- $Q_{mu} = \frac{M_u}{h_0/2}$ h_0 : 순 길이(cm)
- $Q_{su} = \left\{ \frac{0.053 P_t^{0.23} (180 + f_{ck})}{M/Q \cdot d + 0.12} + 2.7 \sqrt{P_w \cdot \sigma_{wy} + 0.1 \sigma_o} \right\} \cdot b \cdot j$
 P_t : 인장철근비(%) σ_{wy} : 전단보강근 항복점 강도(kg/cm^2)
 M/Q : $h_0/2$ 로 하여도 좋다. σ_o : 축방향 응력도(N/bD)(kg/cm^2)
 P_w : 전단보강근비. 단, $P_w \leq 0.012$ 일 때는 $P_w = 0.012$ 로 한다.
 j : 응력 중심간 거리, $0.8D$ 로 하여도 좋다.

- Q_u 는 Q_{mu} 와 Q_{su} 중 작은 값을 사용

▪ 파괴형식

- 벽은 모두 전단벽, 기둥은 h_0/D 가 2이하인 기둥은 극취성기둥, h_0/D 가 2초과인 기둥 중 $Q_{mu} < Q_{su}$ 인 경우는 휨기둥, $Q_{mu} \geq Q_{su}$ 인 경우 전단기둥으로 분류.

* 일본 내진진단기준에 의해서 계산한 결과임.

부재		M_u	Q_{mu}	Q_{su}	Q_u	파괴 형식	Q_{su}/Q_{mu}
階	名 × 個	($kN \cdot m$)	(kN)	(kN)	(kN)		
1 (X)	C1 × 2 _{EA}	71.3	50.1	126	50.1	힘기둥	2.51
	C2 × 6 _{EA}	86	60.3	135	60.3	힘기둥	2.24
	C9 × 2 _{EA}	150.3	105.4	160.0	105.4	힘기둥	1.51
	C10 × 6 _{EA}	187.3	131.5	193.1	131.5	힘기둥	1.47
	C17 × 2 _{EA}	142.3	99.8	171.1	99.8	힘기둥	1.71
	C18 × 6 _{EA}	175.5	123.2	195.4	123.2	힘기둥	1.59

3.2 연성지표 (F) 산정

		F	부재		파괴 형식	μ	F	그룹
기둥	극취성기둥	0.8	층	각				
	전단기둥	1.0	1	W1				
	힘기둥	$\frac{\sqrt{2\mu-1}}{0.75(1+0.05\mu)}$		C1				
벽	전단벽	1.0	⋮		⋮	⋮	⋮	⋮

▪ 힘기둥의 종국소성율 μ

$\mu = \mu_o - k_1 - k_2$ 단, $1 \leq \mu \leq 5$ 로 한다.

$$\mu_o : 10 \left(\frac{Q_{su}}{Q_{mu}} - 1 \right)$$

$$k_2 : 30 \left(\frac{\tau_{M_u}}{f_{ck}} - 0.1 \right) \geq 0$$

$$k_1 : 2.0$$

$$\tau_{M_u} : Q_{mu} / (b \cdot j)$$

(k_1 의 경우, 띠철근간격이 주근지름의 8배 이하인 경우는 0으로 하여도 좋다)

▪ 파괴형식 및 연성지표 F 의 값이 비슷한 것을 최대한 정리하여 최대 3개의 그룹으로 분류한다.

- 연성지표 F 가 작은 순으로 제1그룹, 제2그룹, 제3그룹으로 명한다.

부재		파괴형식	μ	F	그룹
階	名				
1	C1	힘기둥	5	3.2	2
	C2	힘기둥	5	3.2	2
	C9	힘기둥	3.1	2.63	1
	C10	힘기둥	2.7	2.46	1
	C17	힘기둥	5	3.2	2
	C18	힘기둥	3.9	2.9	2

3.3 강도지표 (C) 및 보유성능(Eo) 산정

부재		$\sum Qu(t)$	$W(t)$	C	F	$\frac{(n+1)}{(n+i)}$	E_0		
층 (방향)	그룹						$E_{0(1)}$	$E_{0(2)}$	E_{0max}
1 (X)	1	999.8	11568	0.09	2.5	1	0.43	0.45	0.45
	2	1400.8		0.12	3.2				
	3	-		-	-				
∴		∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴

■ 강도지표 C

$$C = \frac{\sum Qu}{W}, \quad W: \text{그 층보다 위의 건물 전 중량}$$

n : 건물 층 수 i : 대상 층 수

표 IV.4 전단 (C_{su}) 및 휨파괴형(C_{fy}) 부재의 종국강도 분류

종국강도 분류	종국강도 값
전단파괴형 부재의 종국강도 (C_{su})	C_{su} = 연성지표 F 가 1이하인 경우의 강도지표의 합 $\sum C$
휨파괴형부재의 종국강도 (C_{fy})	C_{fy} = 연성지표 F 가 1을 초과한 경우의 강도지표의 합 $\sum C$

- C_{su} : 연성지표 F 가 1이하인 경우의 C	$C_{su} = (\underline{\hspace{1cm}0\hspace{1cm}})$
- C_{fy} : 연성지표 F 가 1초과한 경우의 C	$C_{fy} = (\underline{\hspace{1cm}0.21\hspace{1cm}})$

▪ 최종 E_0 는 $E_{0(1)}$ 과 $E_{0(2)}$ 중 더 큰 값으로 결정한다.

$$- E_{0(1)} = \frac{n+1}{n+i} (C_1 + \alpha_2 C_2 + \alpha_3 C_{3w}) \times F_1$$

C_i, F_i : i 그룹의 강도지표, 연성지표

$$- E_{0(2)} = \frac{n+1}{n+i} \sqrt{(C_1 \times F_1)^2 + (C_2 \times F_2)^2 + (C_3 \times F_3)^2}$$

4. 내진 성능 평가

4.1 지진동(α) 산정

C_{su}	C_{fy}
0	0.21

$\mu_f(\mu_s)$	0.3(5)	0.6(10)	1	2	4
$\alpha(g)$	0.05	0.08	0.1	0.2	0.27

▪ C_{su}, C_{fy}, μ_f 및 α 의 관계식

$$\mu_{f=0.3} : 0.3 = \frac{0.08}{1.03} \alpha^{-0.97} [C_{fy} + 1.9\alpha(\alpha - 0.005)^{-0.7} C_{su}] \quad (4.10a)$$

$$\mu_{f=0.6} : 0.6 = \frac{0.24}{1.1} \alpha^{-0.99} [C_{fy} + 1.54\alpha(\alpha - 0.017)^{-0.6} C_{su}] \quad (4.10b)$$

$$\mu_{f=1.0} : 1.0 = \frac{0.65}{1.1} \alpha^{-0.9} [C_{fy} + 1.02\alpha(\alpha - 0.007)^{-0.58} C_{su} + 0.008\alpha(\alpha + 0.003)^{-3} C_{su}^2] \quad (4.10c)$$

$$\mu_{f=2.0} : 2.0 = \frac{1.7}{1.1} \alpha^{-1.12} [C_{fy} + 0.7\alpha^2(\alpha - 0.007)^{-0.96} C_{su} + 0.12\alpha(\alpha - 0.011)^{-1.7} C_{su}^2] \quad (4.10d)$$

$$\mu_{f=4.0} : 4.0 = \frac{4.1}{1.1} \alpha^{-1.23} [C_{fy} + 0.018 \alpha^2 (\alpha - 0.001)^{-1.1} C_{su} + 0.4 \alpha (\alpha - 0.017)^{-1.16} C_{su}^2] \quad (4.10e)$$

▪ α 의 범위

- $\mu_f = 0.3, 0.6$ 식의 경우 $0 \leq \alpha \leq 0.35g$ - $\mu_f = 1, 2, 4$ 식의 경우 $0.1g \leq \alpha \leq 0.35g$

4.2 내진 성능 잔존률(RSC) 산정

특정 연성율	연성율별 지진가속 도 수준 (제IV.4절)	보유성 능 (제IV.3 절)	전단 및 휨파괴형 부 재의 손상도 (표 IV.6)		내진성능 저감계수 (η)		지진피해 후의 보 유성능	잔존 내진성 능
μ_f	$\alpha(g)$	E_o	전단파괴	휨파괴	전단파괴	휨파괴	${}_D E_o$	RSC (%)
0.3	0.05	0.45	Ⅲ	I	0.3	0.95	0.42	93
0.6	0.08		Ⅳ	I	0	0.95	0.42	93
1	0.1		Ⅳ	Ⅱ	0	0.75	0.33	73
2	0.2		Ⅳ	Ⅲ	0	0.5	0.22	49
4	0.27		Ⅳ	Ⅳ	0	0.1	0.04	8

▪ 내진 성능 잔존률(RSC)

$$RSC = \frac{{}_D E_o (= \eta E_o)}{E_o} \times 100(\%) \quad (4.11)$$

여기서, E_o : 지진피해 전의 보유성능 (제IV.3절 참조)

${}_D E_o$: 지진피해 후의 보유성능 ($= \eta \cdot E_o$)

η : 내진성능 저감계수 (표 IV.6 참조)

표 4.6 부재의 내진성능 저감계수(η)

지진손상도	전단파괴형 기둥	휨파괴형 기둥	전단벽
I	0.95	0.95	0.95
II	0.6	0.75	0.6
III	0.3	0.5	0.3
IV	0	0.1	0
V	0	0	0

주) 내진성능 저감계수는 부재의 실험연구를 바탕으로 유도한 것으로서, 부재의 내력-변형관계곡선을 이상화하여 부재가 소산한 지진에너지와 잔존에너지 흡수능력을 이용하여 설정한 계수임.

5. 최대 입력지진 가속도(α) 산정

- 내진성능 평가를 위한 기본 지진가속도는 제Ⅱ.2.가절에 나타난 각 지진구역별 500년, 2400년 재현주기 지진의 유효지반가속도(S)로 정의하였으며, 평가용 최대 지진가속도(α)는 유효지반가속도(S)에 제Ⅱ.2.다절에 나타난 지반종류에 따른 지반증폭계수(F_a)(표 Ⅱ.6)를 곱한 단주기의 설계스펙트럼가속도(S_{DS})를 이용하여 식 (2.1) 및 식 (2.2)에 의해서 산정한다. 표 Ⅱ.2에는 지반종류에 따른 단주기의 설계스펙트럼가속도(S_{DS})를 나타내며, 표 Ⅱ.3에는 평가용 최대 지진가속도(α)를 나타낸다.

$$\alpha = \frac{S_{DS}}{2.5} = S \times F_a \quad (500\text{년 재현주기의 경우}) \quad (2.1)$$

$$\alpha = \frac{S_{DS}}{2.5} = S \times F_a \times 2/3 \quad (2500\text{년 재현주기 } 2/3 \text{ 수준의 경우}) \quad (2.2)$$

5.1 지진지역 구분 및 지역계수 (A)

- 지역계수 : 지진지역 ()/지역계수 값 ($S =$) ☐ 지진지역 1 ☐ 지진지역 2

표 Ⅱ.4 지진구역 구분 및 지역계수

지진구역	행정구역	유효지반가속도 S
1	지진구역 2를 제외한 전지역*	0.22
2	강원도 북부, 전라남도 남서부, 제주도	0.14

주* 강원도 북부(군,시): 홍천, 철원, 화천, 횡성, 평창, 양구, 인제, 고성, 양양, 춘천시, 속초시, 전라남도 남서부(군,시): 무안, 신안, 완도, 영광, 진도, 해남, 영암, 강진, 고흥, 함평, 목포시

5.2 지반종류 구분 및 지진지역 단주기 (S_{DS}) 계산

■ 지반종류 체크 : ☐ S_A ☐ S_B ☐ S_C ☐ S_D ☐ S_E

표 II.5 지반의 분류

지반 종류	지반종류의 호 칭	상부 30m에 대한 평균 지반특성		
		전단파속도 (m/s)	표준관입시험 \overline{N} (타격횟수/300mm)	비배수전단강도 $\overline{s_u}$ ($\times 10^{-3}$ MPa)
S_A	경암 지반	1500 초과	-	-
S_B	보통암 지반	760에서 1500		
S_C	매우 조밀한 토사 지반 또는 연암 지반	360에서 760	> 50	> 100
S_D	단단한 토사 지반	180에서 360	15에서 50	50에서 100
S_E	연약한 토사 지반	180 미만	< 15	< 50

표 II.6 지반증폭계수 F_a

지반종류	지진구역		
	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.50$	$S_s = 0.75$
S_A	0.8	0.8	0.8
S_B	1.0	1.0	1.0
S_C	1.2	1.2	1.1
S_D	1.6	1.4	1.2
S_E	2.5	1.9	1.3

* S_s 는 S 를 2.5배한 값이다. 위 표에서 S_s 의 중간값에 대하여는 직선 보간한다.

5.3 최대 입력가속도 (α) 결정

표 II.2 재현주기별 단주기 설계스펙트럼 가속도(S_{DS})

지반종류	지역구역 1*		지진구역 2*	
	500년	2400년 2/3	500년	2400년 2/3
S_A	0.22	0.29	0.14	0.19
S_B	0.28	0.37	0.175	0.23
S_C	0.33	0.43	0.21	0.28
S_D	0.44	0.50	0.28	0.35
S_E	0.68	0.70	0.44	0.53
주* 지진구역1 및 지진구역2는 표 II.4참조				

표 II.3 재현주기별 평가용 최대 지진가속도(α)

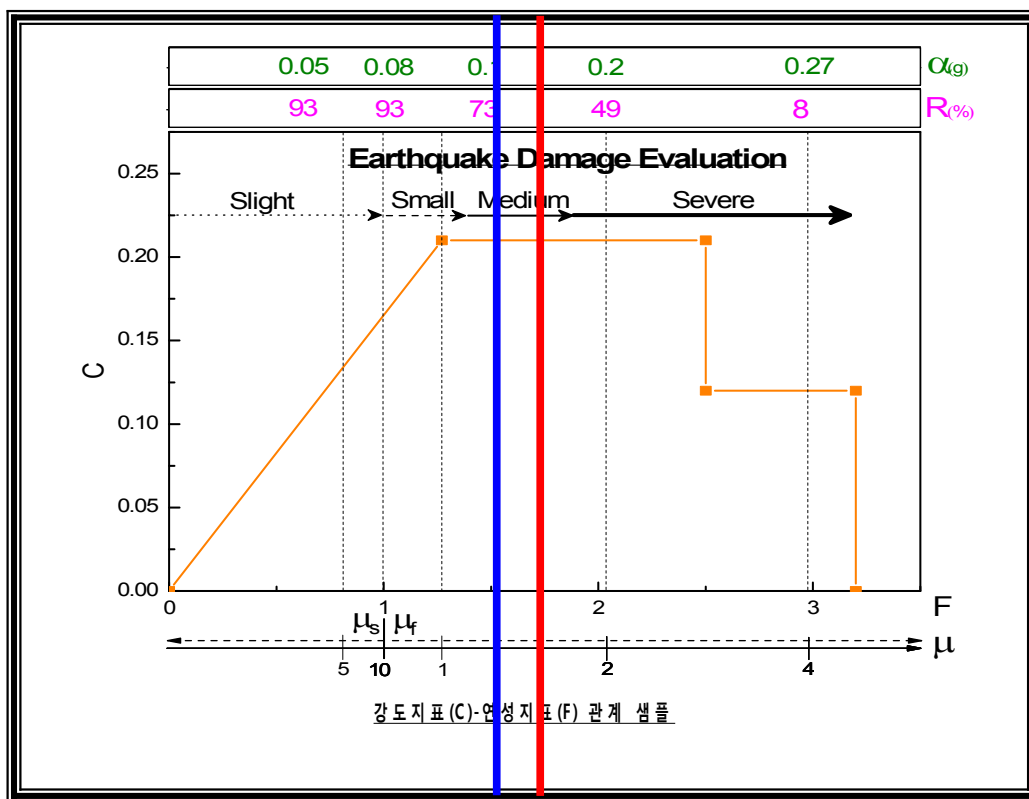
지반종류	지역구역 1*		지진구역 2*	
	500년	2400년 2/3	500년	2400년 2/3
S_A	0.09	0.12	0.06	0.08
S_B	0.11	0.15	0.07	0.09
S_C	0.13	0.17	0.08	0.11
S_D	0.18	0.20	0.11	0.14
S_E	0.27	0.28	0.18	0.21
주* 지진구역1 및 지진구역2는 표 II.4참조				

▪ 입력가속도(α) : $\alpha = \frac{S_{DS}}{2.5} = \frac{0.28}{2.5} = 0.11g / 0.15g$

5. 강도지표(C)와 연성지표(F)의 관계 그림

- 강도지표-연성지표 관계를 C-F 샘플을 참조로 작성함.

0.11g(RSC=70%) 0.15g(RSC=59%)



6. 내진 성능 등급 및 내진 성능 최종 판정

500년 재현주기

▪ 최종 내진등급 = (**B**) 표 II.10 참조

▪ 최종 내진성능 판정 결과 = (**OK**) 표 II.11 참조

2400년 재현주기 2/3

▪ 최종 내진등급 = (**B**) 표 II.10 참조

▪ 최종 내진성능 판정 결과 = (**OK**) 표 II.11 참조

표 II.10 내진성능 상세평가 결과와 내진등급과의 관계



피해구분	성능수준	잔존 내진성능 (RSC)	내진성능 등급	
			500년 재현주기	2400년 재현주기 2/3
경미한 피해	OP	$RSC \geq 95$	A	A
소규모 피해	IO	$80 \leq RSC < 95$		
중규모 피해	DCR	$70 \leq RSC < 80$	 B	
	LS	$60 \leq RSC < 70$	C	
대규모 피해	LSR	$50 \leq RSC < 60$	D	 B
	CP	$20 \leq RSC < 50$	E	C
붕괴	C	$10 \leq RSC < 20$		D
		$0 \leq RSC < 10$		E

표 II.11 내진성능평가에 의한 구조물의 내진성능 판정법

등급 부호	지진 재현주기별 성능수준		예비평가	상세평가	조 치
	500년	2400년 2/3			
A등급	IO 이하	LS 이하	OK	OK	일상적인 유지관리
B등급	DCR	LSR	OK	 OK	간략한 보수나 보강에 의해 기능수행
C등급	LS	CP	상세평가 실시	보강	내진보강설계에 의한 보강을 실시하여 내진성능을 향상
D등급	LSR	C	상세평가 실시	보강	내진보강설계에 의한 보강을 실시하여 내진성능을 향상
E등급	CP 이상	C	상세평가 실시	보강/철거판단	경제성분석에 의해 전체 구조의 성능개량이나 철거를 판단하고, 성능개량 판정 시에는 내진보강설계에 의한 구조의 성능을 전면적으로 개량하여 내진성능을 향상